

Inhalt

1	Zielsetzung.....	5
2	Methode.....	5
2.1	Versuchsdesign	5
2.1.1	Versuchsablauf	6
2.1.2	Messmethodik	8
2.2	Stichprobe	8
2.3	Fragebogen.....	8
2.4	Messkonzept zur Erhebung objektiver Daten	10
3	Ergebnisse.....	12
3.1	Objektive Daten	12
3.1.1	Kabinenklima	12
3.1.2	Klima in der Körperumgebung von Probanden.....	12
3.1.3	Klima in Längsreihen.....	15
3.1.4	Klima und Geschlecht	15
3.1.5	Klima in der Körperumgebung von Dummies.....	16
3.2	Subjektive Klimabewertung	17
3.2.1	Subjektive Einschätzung und Bewertung der Klimaparameter pro Klimafall.....	17
3.2.2	Eingeschätztes Wohlbefinden pro Klimafall.....	22
3.2.3	Klimaempfinden pro Körperbereich	24
3.2.4	Komfort in der Sitzreihe	28
3.2.5	Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf das Klimaempfinden: Geschlecht	35
4	Ein psychologisches Thermo-Komfort-Modell	36
5	Vorhersage thermischen Komforts	39
5.1	Zusammenwirken der Klimaparameter in Bezug auf die Vorhersage von Klimakomfort	39
5.2	Komfortvorhersage: Anwendungsbeispiel	40
5.3	Vergleich der Komfortvorhersage mit existierenden Komfortmodellen.....	42
5.3.1	Vergleich mit Fanger PMV und PPD (ISO 7730)	42
5.3.2	Komfortgrenzen (ISO 14505-2:2006)	43
6	Bodenfall	44
6.1	Objektive Daten	44
6.2	Subjektive Klimabewertung	46
7	Zusammenfassende Bewertung	48
7.1	Validität der Daten	48
7.2	Qualität der Datenbank	49
7.3	Thermo-Komfort-Modell.....	49
7.4	Fazit.....	50
8	Literatur.....	51

Abbildungen

Abbildung 1: Links: Versuchsträger Do 728 des DLR e.V. Rechts: Versuchssituation in der Kabine der Do 728.....	5
Abbildung 2: Versuchsdesign im gesamten Arbeitspaket.....	7
Abbildung 3: Versuchsablauf im Probandenversuch	7
Abbildung 4: Messkonzept – ECCO III	11
Abbildung 5: Einschätzung der Klimaparameter.....	18
Abbildung 6: Bewertung der Klimaparameter.....	20
Abbildung 7: Temperaturpräferenz für die Klimafälle Cruise A1 bis Cruise A6.....	20
Abbildung 8: Bewertung der gesamten Klimasituation.....	21
Abbildung 9: Anteil Zufriedener pro Klimafall (Prozent der Pbn mit Skalenwert 3, 4 oder 5)	22
Abbildung 10: Einschätzung der MDBF-Variablen pro Klimafall	23
Abbildung 11: Einschätzung der FAW-Variablen pro Klimafall	24
Abbildung 12: Temperatur-Einschätzung und Bewertung der Körperteile für Cruise A1	25
Abbildung 13: Temperatur-Einschätzung und Bewertung der Körperteile für Cruise A6	25
Abbildung 14: Luftzug-Einschätzung und -Bewertung der Körperteile für Cruise A1	26
Abbildung 15: Luftzug-Einschätzung und -Bewertung der Körperteile für Cruise A2	27
Abbildung 16: Luftzug-Einschätzung und -Bewertung der Körperteile für Cruise A5	27
Abbildung 17: Temperatur-Einschätzung pro Sitzlängsreihe	28
Abbildung 18: Luftzug-Einschätzung pro Sitzlängsreihe	29
Abbildung 19: Luftfeuchtigkeit-Einschätzung pro Sitzlängsreihe	29
Abbildung 20: Luftqualität-Einschätzung pro Sitzlängsreihe	30
Abbildung 21: Temperatur-Bewertung pro Sitzlängsreihe.....	31
Abbildung 22: Luftzug-Bewertung pro Sitzlängsreihe.....	31
Abbildung 23: Klima-Zufriedenheit pro Sitzlängsreihe	32
Abbildung 24: Temperatur-Einschätzung pro Sitzplatz (21,5 °C, 1 = sehr kalt – 7 = heiß).....	33
Abbildung 25: Temperatur-Einschätzung pro Sitzplatz (26 °C, 1 = sehr kalt – 7 = heiß).....	34
Abbildung 26: Thermo-Komfort-Modell	36
Abbildung 27: Pfadmodell Klima-Einschätzung – Klimazufriedenheit	39
Abbildung 28: Pfadmodell Klima-Bewertung – Klimazufriedenheit	40
Abbildung 29: Vorhergesagter Klimakomfort in Klimafall A5 (24 °C), Reihe 4, auf Basis der objektiven Temperatur	41
Abbildung 30: Empirisch ermittelter Klimakomfort in Klimafall A5 (24 °C), Reihe 4 (Temperatur-Bewertung).....	41
Abbildung 31: Vergleich ECCO-Daten mit Fanger PMV und PPD	43
Abbildung 32: Vergleich der Komfortgrenzen ISO 14505/Sommer (rot) vs. ECCO (blau).....	44
Abbildung 33: Versuchsablauf Bodenfall	45
Abbildung 34: Zusammenhang Temperatur-Einschätzung und -Bewertung	47

Tabellen

Tabelle 1: Übersicht zu den umgesetzten Versuchsbedingungen	6
Tabelle 2: Übersicht der subjektiven Klimabewertungen sowie deren Skalierungen	9
Tabelle 3: Übersicht der Messdaten objektiver Parameter pro Klimafall	12
Tabelle 4: Durchschnittliche Temperaturwerte an den Körperteilen über alle Vpn pro Klimafall (n=10)	13
Tabelle 5: Durchschnittliche Luftfeuchtheitswerte an den Körperteilen über alle Versuchspersonen pro Klimafall (n=10)	14
Tabelle 6: Durchschnittliche Temperatur- und Luftfeuchtheitswerte zusammenfassend für alle Körperteile und alle Vpn pro Klimafall (n=10)	14
Tabelle 7: Durchschnittliche Temperatur je nach Sitzreihe über alle Körperteile und alle Vpn pro Klimafall (n=10)	15
Tabelle 8: Durchschnittliche Luftfeuchte je nach Sitzreihe über alle Körperteile und alle Vpn pro Klimafall (n=10)	15
Tabelle 9: Durchschnittliche Temperatur männlicher und weiblicher Vpn über alle Körperteile hinweg pro Klimafall	16
Tabelle 10: Durchschnittliche Luftfeuchte männlicher und weiblicher Vpn über alle Körperteile hinweg pro Klimafall	16
Tabelle 11: Durchschnittliche Temperatur (Dantec-Sonden) und Luftgeschwindigkeit (Dantec-Sonden) am Körper der Dummys pro Klimafall	17
Tabelle 12: Einschätzung der Klimaparameter	18
Tabelle 13: Bewertung der Klimaparameter (1 = <i>sehr unangenehm</i> bis 5 = <i>sehr angenehm</i>)	19
Tabelle 14: Bewertung der gesamten Klimasituation	21
Tabelle 15: Einschätzung der MDBF-Variablen pro Klimafall	22
Tabelle 16: Einschätzung der FAW-Variablen pro Klimafall	23
Tabelle 17: Unterschiedseffekte in der Einschätzung der Klimaparameter je nach Sitzreihe	28
Tabelle 18: Unterschiedseffekte in der Bewertung der Klimaparameter je nach Sitzreihe	30
Tabelle 19: Vergleich ECCO-Daten mit Fanger PMV und PPD	42
Tabelle 20: Ausprägung der Klimaparameter in Klimafall A7	44
Tabelle 21: Übersicht der Messdaten objektiver Parameter pro Klimaphase	45
Tabelle 22: Durchschnittliche Temperatur- und Luftfeuchtheitswerte zusammenfassend für alle Körperteile und alle Vpn pro Klimaphase (n=10)	45
Tabelle 23: Durchschnittliche Temperatur (Pt100) an den Körperteilen der Dummys pro Klimaphase	46
Tabelle 24: Durchschnittliche Luftgeschwindigkeit (Dantec-Sonden) an den Körperteilen der Dummys pro Klimaphase	46

1 Zielsetzung

Dass das Klima in der Kabine Relevanz für den erlebten Komfort im Flugzeug aufweist, ist eine weit verbreitete Annahme. Belegt wird diese Annahme u.a. mit Ergebnissen aus einer aktuellen Studie (Vink et al., 2012), die einen Überblick zu Ansatzpunkten für die Verbesserung des Reisekomforts auf Flügen vorlegt. In einem Ranking gelisteter Faktoren wird der thermische Komfort von Passagieren als ein bedeutsamer Faktor für den erlebten Reisekomfort angeführt. Zusätzlich wird in der Studie deutlich, dass das Klima im Flugzeug noch besser ausgelegt werden könnte.

In diesem Bericht werden Ergebnisse zur Untersuchung des thermischen Komforts im Flugzeug-Mock-Up Do 728 des DLR vorgestellt. Beschrieben sind bedeutsame Ergebnisse aus mehreren Probandenbefragungen, die im Rahmen des Projekts Enhanced Cabin Comfort Computations (ECCO, DLR intern, Laufzeit 04/2010 – 03/2013) durchgeführt wurden. Die Daten wurden statistisch bewertet und abschließend in Kopplung mit objektiven Messwerten der thermischen Umgebung in eine Datenbank überführt. Diese wurde zur numerischen Generierung von Aussagen zu thermischem Komfort in der Flugzeugkabine aufgebaut bzw. erweitert, da aus dem abgeschlossenen Projekt CoSiCab+ (2007-2009; internes Projekt DLR) bereits Daten zum thermischen Komfort vorlagen. Mit dem Aufbau der Datenbank verbunden war die Entwicklung eines Thermo-Komfort-Modells, das Zusammenhänge zwischen den relevanten Variablen anhand von (nicht-)linearen Funktionen abbildet.

2 Methode

2.1 Versuchsdesign

Die Befragungen zum thermischen Komfort fanden in einem Flugzeugkabinen-Mock-Up vom Typ „Dornier 728“ in Göttingen statt. Dieses Flugzeug verfügt über 70 Plätze in 14 Reihen mit einem Gang in der Kabine (s. Abbildung 1).



Abbildung 1:

Links: Versuchsträger Do 728 des DLR e.V. Rechts: Versuchssituation in der Kabine der Do 728

Um eine Datenbank zum Komforterleben aufzubauen, die für die Klimatisierung während des Reisefluges Gültigkeit hat, bestand das Ziel, Komfortaussagen für realistische Temperaturstufen zusammenzustellen. Nach CEN (2009) liegen empfohlene

mittlere Kabinentemperaturen im Reiseflug zwischen 22 °C und 27 °C bei einem Maximum von 0,3 m/s Luftgeschwindigkeit. Die Werte gelten für Kabinenklimateisierungen mit mindestens 30% Luftfeuchtigkeit, haben aber auch Gültigkeit, wenn die Luft trockener ist. Der ANSI/ASHRAE Standard 161:2007 führt 18 °C bis 23,9 °C als akzeptable Kabinentemperatur für Flug- und Bodenbedingungen an, bei max. 0,36 m/s Luftgeschwindigkeit. Der Grenzwert für Luftfeuchtigkeit wird nicht spezifiziert.

Bezugnehmend auf beide Kabinennormen wurde für das Arbeitspaket ein Untersuchungsplan mit Temperaturfällen im Abstand von 1 °C in dem Bereich 21 °C bis 26 °C entwickelt. Geschwindigkeit und Feuchtigkeit sollten in allen Temperaturstufen mit durchschnittlich 0,15 m/s und 18 % Feuchtigkeit konstant gehalten werden.

Zusätzlich zu diesen Untersuchungsfällen für den Reiseflug wurde mit einer erweiterten Fragestellung ein Klimafall für den Aufenthalt des Flugzeugs am Boden mit 27 °C umgesetzt. Die Versuchsbeschreibung und ein Ergebnisüberblick finden sich in Kapitel 6.

Die geplanten Versuchsbedingungen konnten aufgrund von technischen Begrenzungen nicht in jedem Fall wie vorgesehen vorgegeben werden. Hier die Übersicht zu den realisierten Klimafällen (s. Tabelle 1):

Tabelle 1: Übersicht zu den umgesetzten Versuchsbedingungen

	Ø Temperatur	Ø Luftgeschwindigkeit	Ø Luftfeuchtigkeit
Klimafall A1	21,5 °C	0,15 m/s	29 %
Klimafall A2	23,0 °C	0,14 m/s	24 %
Klimafall A3	22,0 °C	0,16 m/s	31 %
Klimafall A4	25,0 °C	0,15 m/s	29 %
Klimafall A5	24,0 °C	0,14 m/s	20 %
Klimafall A6	26,0 °C	0,13 m/s	26 %

Die angestrebte Vorgabe eines Klimafalls mit 21 °C wurde aufgrund einer Kapazitätsbeschränkung der Klimaanlage nicht erreicht. Ebenso konnte bisher die angestrebte Trockenheit von 18% Luftfeuchtigkeit während der Versuchsdurchführung nicht erzielt werden.

In der Mitte des Projektzeitraumes wurde die Klimaanlage des Flugzeug-Mock-Ups überarbeitet. Die Versuchsbedingungen sind daher für Klimafall A5 und A6 nur eingeschränkt mit den Bedingungen der vorherigen Versuche vergleichbar. Dies betrifft vor allem die Homogenität der Luftströmung, die mit dem Umbau optimiert wurde.

2.1.1 Versuchsablauf

Das Versuchsdesign für alle durchgeführten Probandenversuche ist in Abbildung 2 aufgenommen.

ECCO I Okt. 2010	Vorlauf	Klima Cruise A1		Klima Cruise A2	Klima Cruise A2		Klima Cruise A1
	Klima nicht konstant	21,5 °C 25 % Feuchte 0,14 m/s (660 l/s)		23 °C 24 % Feuchte 0,14 m/s (660 l/s)	23 °C 24 % Feuchte 0,14 m/s (660 l/s)		21,5 °C 32 % Feuchte 0,15 m/s (660 l/s)
ECCO II April 2011	Vorlauf	Klima Cruise A3		Klima Cruise A4	Klima Cruise A4		Klima Cruise A3
	Klima nicht konstant	22 °C 29 % Feuchte 0,15 m/s (660 l/s)		25 °C 24 % Feuchte 0,14 m/s (660 l/s)	25 °C 35 % Feuchte 0,15 m/s (660 l/s)		22 °C 33 % Feuchte 0,16 m/s (660 l/s)
ECCO III März 2012	Vorlauf	Klima Cruise A5		Klima Cruise A6	Klima Cruise A6		Klima Cruise A5
	Klima nicht konstant	24 °C 21 % Feuchte 0,13 m/s (660 l/s)		26 °C 25 % Feuchte 0,13 m/s (660 l/s)	26 °C 27 % Feuchte 0,14 m/s (660 l/s)		24 °C 19 % Feuchte 0,15 m/s (660 l/s)

Abbildung 2: Versuchsdesign im gesamten Arbeitspaket

In jeder Untersuchung wurden zwei Klimafälle mit unterschiedlichen Temperaturstufen vorgegeben. Um den Reihenfolgeeffekt zu kontrollieren, sind die Klimabedingungen in unterschiedlicher Reihenfolge wiederholt vorgegeben worden (s. Abbildung 3).

In jeder Klimaphase folgte nach einer Einwirkzeit des Klimas von 15 Minuten (im Oktober 2010 von 20 Minuten) die Beantwortung eines Fragebogens auf Handhelds für 10 bis 15 Minuten. In der Vorlaufphase konnten sich die Versuchspersonen mit der technischen Nutzung der zur Erhebung der Daten eingesetzten Handhelds sowie mit den Befragungsinhalten vertraut machen. Die Umstellung von einer Klimabedingung auf die andere benötigte bis zu 30 Minuten. Während der verschiedenen Untersuchungsphasen wurde ein Film gezeigt, der für das Beantworten der Fragen unterbrochen wurde.

Probandenversuch Do 728 Untersuchungsdesign 10:00h-14:00h

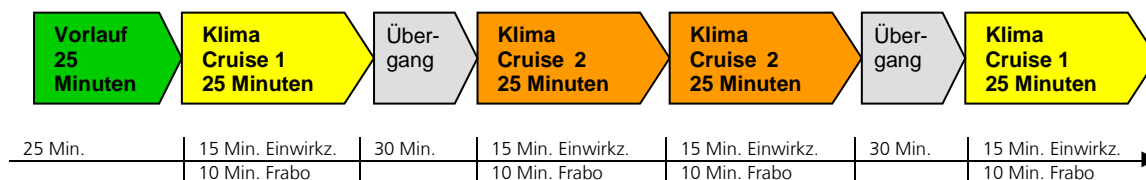


Abbildung 3: Versuchsablauf im Probandenversuch

Damit eine einheitliche Bekleidungsstärke sichergestellt war, erhielten alle Probanden vorab Kleidungshinweise: knöchelfreie, geschlossenen Schuhe, ein langärmliges Oberteil, keine Schals oder Rollkragenpullover sowie lange Hosen (keine Röcke).

Insgesamt waren die Teilnehmer in der Zeit von 10.00 Uhr bis 14.00 Uhr anwesend, wobei der Versuch im Mock-Up 3 Stunden und 45 Minuten umfasste. Am Ende der Untersuchung wurde den Versuchspersonen ein Honorar ausgezahlt.

2.1.2 Messmethodik

Während des Versuchsablaufs wurden objektive und subjektive Daten zum vorgegebenen Klima erhoben. Die Temperatur, die Luftgeschwindigkeit und die Luftfeuchtigkeit wurden im Gang der Kabine gemessen und auch direkt in der Körperumgebung der Versuchspersonen bzw. von Dummys an mehreren Körperbereichen. Dazu wurden unterschiedliche Erhebungsinstrumente eingesetzt. Um die Ausprägung der Klimaparameter in der Körperumgebung zu erfassen, wurden 10 Versuchspersonen mit USB-Datenloggern an 10 unterschiedlichen Körperteilen ausgestattet. Außerdem wurden Pt100 Sensoren und Dantec Sonden an Dummys sowie USB-Daten-Logger im Gang der Kabine genutzt.

Zur Erhebung der subjektiven Daten wurden wie erwähnt Handhelds (HP iPAQ214, 4" TFT touch screen display) eingesetzt. Nach jeder Klimaphase wurde so das aktuelle Wohlbefinden erfragt. Einmalig wurden verschiedene stabile differentielle Merkmale - traits - erhoben. Diese Befragung erfolgte in der zweiten Übergangsphase des Versuchs. Die Skalen des Fragebogens zum aktuellen Empfinden (state) und zu den überdauernden Merkmalen (trait) sind unter 2.3 vorgestellt.

2.2 Stichprobe

Angestrebt wurde die Befragung einer möglichst repräsentativen Stichprobe für Passagiere auf Flugreisen, wobei eine Altersgrenze bei 50 Jahren gesetzt wurde, damit einheitliche gesundheitliche Zustände der Teilnehmer angenommen werden konnten. Ausgewählt waren daher Versuchspersonen von 18 bis 50 Jahre (50% unter 35 Jahre). 50% Männer bzw. Frauen wurden eingeteilt. Außerdem sind in der Stichprobe unterschiedliche Berufsgruppen mit unterschiedlichem Bildungsgrad von „ohne Abschluss“ bis „Abitur“ vertreten. In jedem Probandenversuch wurden jeweils 60 Personen befragt (ab 2012 nur noch 50, da weitere 10 Sitzplätze für den Aufbau der Messtechnik benötigt wurden).

2.3 Fragebogen

Nach jedem Klimafall wurde die aktuelle Befindlichkeit mit einem State-Fragebogen erhoben. Ein Trait-Fragebogen wurde nur einmalig vorgegeben – er erfasst stabile Merkmale sowie demographische Daten und den aktuellen Gesundheitszustand der Versuchspersonen.

Im ersten Abschnitt des State-Fragebogens wurden Temperatur- und Luftzugbewertungen für 20 unterschiedliche Körperteile erfragt. In einem weiteren Abschnitt des State-Fragebogens wurden allgemeine Klimabewertungen für unterschiedliche Klima-

parameter erhoben. Dabei wurde jeweils erfragt, wie die einzelnen Klimaparameter in Bezug auf ihre Ausprägung subjektiv eingeschätzt wurden (Klima-Einschätzung) und wie behaglich diese erlebt wurden (Klima-Bewertung). Einen Überblick zu den erfragten Parametern bietet Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht der subjektiven Klimabewertungen sowie deren Skalierungen

Klima-Einschätzung	
Temperatur-Einschätzung	<i>sehr kalt – heiß</i> - siebenstufig -
Luftzug-Einschätzung	<i>gar nicht – sehr stark</i> - siebenstufig -
Luftfeuchtigkeit-Einschätzung	<i>sehr trocken – sehr feucht</i> - siebenstufig -
Luftqualität-Einschätzung	<i>sehr stickig – sehr frisch</i> - siebenstufig -
Klima-Bewertung	
Temperatur-Bewertung	<i>sehr unangenehm – sehr angenehm</i> - fünfstufig -
Luftzug-Bewertung	
Luftfeuchtigkeit-Bewertung	
Luftqualität-Bewertung	
Thermische Präferenz	<i>Präferenz: wärmer / kälter / keine Präferenz</i>
Zufriedenheit mit dem Klima	<i>sehr unzufrieden – sehr zufrieden</i> - fünfstufig -

Im letzten Teil des Fragebogens wurde das aktuelle psychische und physische Wohlbefinden erfasst. Das psychische Wohlbefinden wurde mit drei Skalen – Gute/Schlechte Stimmung, Wachheit/Müdigkeit sowie Ruhe/Unruhe – aus dem Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) erhoben (Steyer, Schwenkmezger, Notz & Eid, 1997). Das physische Wohlbefinden wurde mittels zweier abgewandelter Skalen aus dem Fragebogen zum aktuellen körperlichen Wohlbefinden (FAW; Frank, 2003) erfasst. Es handelt sich um die Bereiche „Leistungsfähigkeit“ und „Behaglichkeit“.

Mit dem Trait-Fragebogen wurden folgende stabile Merkmale erhoben:

- Persönlichkeitsmerkmale (Extraversion, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit, Neurotizismus, Offenheit – erhoben mit der Kurzversion des Big Five Inventory; BFI-K, Rammstedt & John, 2005),
- allgemeine Klimapräferenzen,
- der aktuelle Gesundheitszustand,
- Gesundheitssorgen,
- Erwartungen und Einstellungen an das Klima in der Flugzeugkabine,
- demographische Variablen.

Beispiele für Erhebungsformate der State- und Trait-Fragebogen finden sich im Forschungsbericht zum Projekt CoSiCab+ (Marggraf-Micheel, Piewald, Winzen & Berg, 2010).

2.4 Messkonzept zur Erhebung objektiver Daten

Objektive Klimaparameter wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit wurden in den Versuchen mittels unterschiedlicher Messtechnik aufgezeichnet.

Die durchschnittliche Kabinentemperatur wurde mit Hilfe von Pt100-Sensoren (im ECCO I – mit USB-Datenloggern) und die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit mit Hilfe von USB-Datenloggern erfasst. Die mittlere Luftgeschwindigkeit in der Kabine wurde anhand von Dantec-Sonden (an Dummys) gemessen.

Um die Ausprägung der Lufttemperatur sowie der Luftfeuchte in der Körperumgebung zu erfassen, wurden 10 Versuchspersonen mit USB-Datenloggern an 10 (bzw. 11 – ECCO III) unterschiedlichen Körperteilen ausgestattet. Diese Probanden saßen bei allen drei Versuchen in der 4. und in der 11. Querreihe in der Kabine. Die Luftgeschwindigkeit in der Körfernähe wurde mittels Dantec-Sonden an unterschiedlichen Körperstellen von Dummys ermittelt. Die Anzahl sowie die Sitzreihe(n) der Dummys variierten in Abhängigkeit von der jeweiligen Untersuchung.

In Abbildung 4 wird das Messkonzept vom letzten ECCO III-Versuch beispielhaft dargestellt.

Messkonzept Do 728 – 24.03.2012

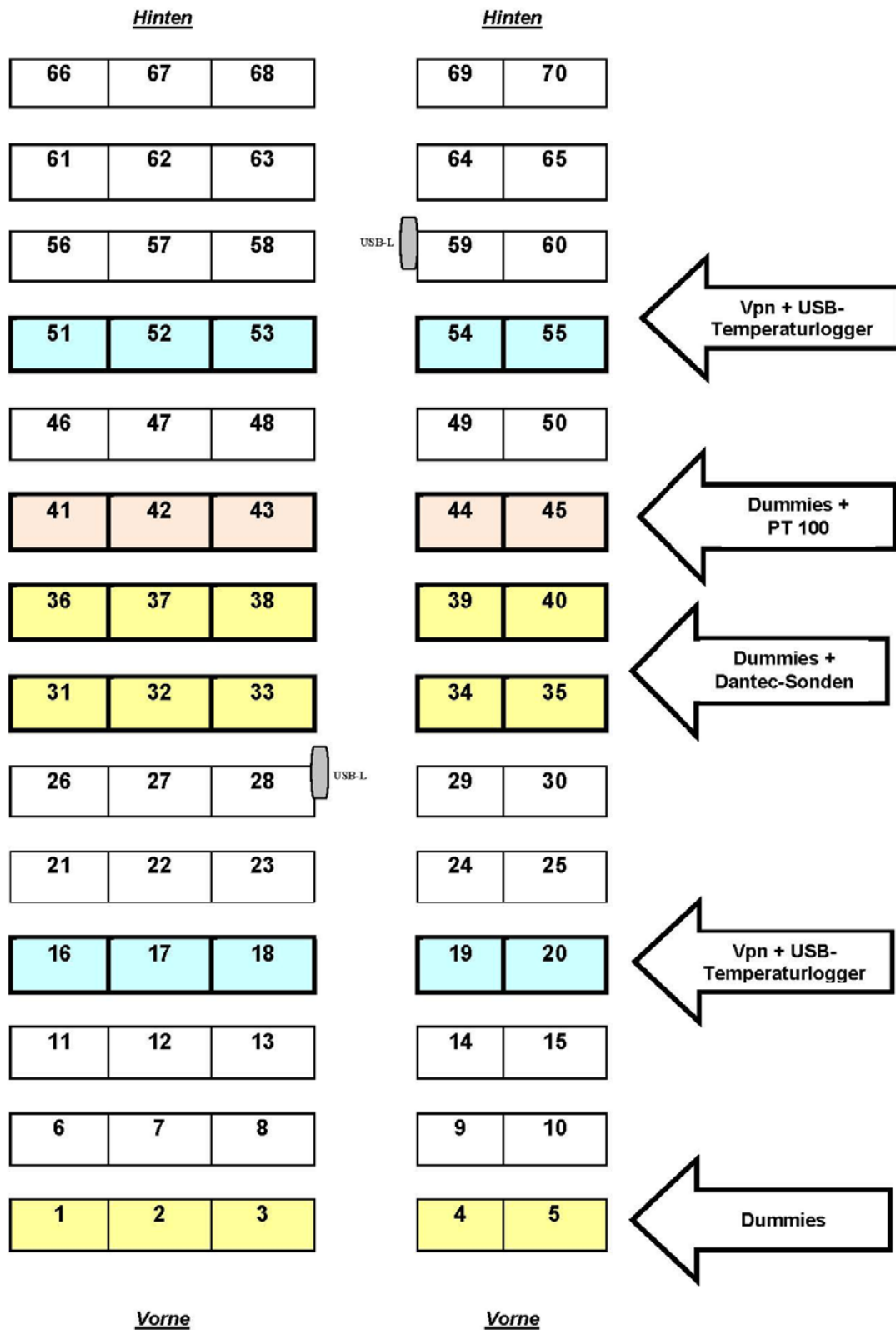


Abbildung 4: Messkonzept – ECCO III

3 Ergebnisse

3.1 Objektive Daten

Im Folgenden werden die Daten der Pt100-Sensoren, die Messdaten der USB-Datenlogger sowie der Dantec-Sonden je nach Klimafall deskriptiv dargestellt. Dabei handelt es sich sowohl um die gesamten Durchschnittswerte der Temperatur, der Luftfeuchte sowie der Luftgeschwindigkeit als auch um die differenzierten Messungen an den einzelnen Körperstellen.

3.1.1 Kabinenklima

Die durchschnittliche Kabinentemperatur wurde in den Versuchen ECCO II und ECCO III mit Hilfe von Pt100-Sensoren ermittelt. Im ECCO II hing jeweils ein Pt100-Sensor auf der rechten und auf der linken Seite der Kabine. Im ECCO III wurden die Pt100-Sensoren an den Körperteilen von vier Dummies installiert. Die durchschnittliche Kabinenfeuchte in jedem Versuch sowie die Kabinentemperatur wurden im ECCO I mit Hilfe von zwei USB-Datenloggern erfasst. Ein USB-Datenlogger hing im vorderen Teil der Kabine (Gang-rechts) und der andere im hinteren Teil der Kabine (Gang-links) jeweils auf Kopfhöhe der Probanden (s. Abbildung 4).

Die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit in der Kabine wurde mittels Dantec-Sonden (an Dummies) erfasst. Bei ECCO I handelt es sich um die Messwerte von zwei Dummies (8. Querreihe) und bei ECCO II um die Messwerte von fünf Dummies (7. Querreihe). Im ECCO III wurde der Luftzug an acht Dummies gemessen, die in der 7. und 8. Querreihe saßen. Tabelle 3 liefert einen Überblick über die Messdaten in der Kabine.

Tabelle 3: Übersicht der Messdaten objektiver Parameter pro Klimafall

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1	Cruise A2	Cruise A3	Cruise A4	Cruise A5	Cruise A6
Lufttemperatur °C	<i>MW</i>	21,62	23,06	22,15	24,95	24,25	26,21
	<i>SD</i>	0,18	0,16	0,58	0,35	0,07	0,21
Luftfeuchte %	<i>MW</i>	28,58	23,71	31,05	29,19	20,16	26,13
	<i>SD</i>	1,07	2,14	0,44	0,08	0,74	1,10
Luftgeschwindigkeit m/s	<i>MW</i>	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	0,13
	<i>SD</i>	0,01	0,02	0,05	0,05	0,02	0,01

Es zeigt sich, dass im ECCO II (A3 und A4) eine höhere Luftfeuchte sowie ein etwas stärkerer Luftzug gemessen wurde im Vergleich zu den anderen Klimafällen.

3.1.2 Klima in der Körperumgebung von Probanden

Um das Klima in der Körperumgebung von Probanden in verschiedenen Klimasituationen zu ermitteln, wurden die Versuchspersonen mit USB-Datenloggern an Kopf, Nacken, Oberarm - links/rechts, Oberkörper (nur im ECCO III), Unterarm – links/rechts,

Oberschenkel - links/rechts, Knöchel -links/rechts ausgestattet. Im Folgenden werden die Ergebniswerte dieser Messungen dargestellt.

Tabelle 4: Durchschnittliche Temperaturwerte an den Körperteilen über alle Vpn pro Klimafall (n=10)

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Kopf oben °C	MW	24,88	25,8	25,44	26,91	26,07	27,49
	SD	1,47	1,13	1,46	1,05	1,55	1,23
Nacken °C	MW	29,01	29,63	27,14	28,73	27,06	28,42
	SD	2,49	2,41	2,17	1,59	1,86	1,39
Oberarm links °C	MW	25,83	26,64	26,28	27,48	26,45	27,82
	SD	1,37	1,11	1,47	1,09	1,02	0,75
Oberarm rechts °C	MW	26,22	27,01	26,07	27,44	26,78	28,08
	SD	1,81	1,85	1,28	0,96	1,52	1,47
Oberkörper °C	MW	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	26,72	28,21
	SD					1,60	1,41
Unterarm links °C	MW	26,51	27,31	27,31	28,53	28,03	29,29
	SD	1,40	1,38	1,64	1,21	1,21	1,06
Unterarm rechts °C	MW	26,49	27,49	27,14	28,31	27,88	29,30
	SD	1,55	1,82	1,68	2,08	1,76	1,61
Oberschenk. links °C	MW	25,37	26,3	26,67	27,57	26,34	27,75
	SD	1,44	1,28	1,87	1,4	1,32	1,10
Oberschenk. rechts °C	MW	25,26	26,19	26,81	27,97	26,65	28,10
	SD	1,58	1,48	1,69	1,37	1,65	1,52
Knöchel links °C	MW	23,14	24,05	23,97	25,37	24,36	25,99
	SD	0,89	0,71	0,82	0,74	1,12	0,87
Knöchel rechts °C	MW	23,35	24,3	24,35	25,68	24,66	25,98
	SD	0,99	0,87	1,18	0,8	1,24	0,98

Anmerkung: ECCO III - Oberarm links: n=9

Die höchste Umgebungstemperatur wurde im ECCO I im Nackenbereich und im ECCO II und ECCO III am Nacken sowie an den Unterarmen gemessen. Am niedrigsten war die Lufttemperatur in jedem Klimafall an den Knöcheln.

Tabelle 5: Durchschnittliche Luftfeuchtwerte an den Körperteilen über alle Versuchspersonen pro Klimafall (n=10)

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Kopf oben %	<i>MW</i>	28,48	24,56	31,01	28,27	21,55	25,85
	<i>SD</i>	2,15	2,32	1,45	3,05	2,61	1,64
Nacken %	<i>MW</i>	26,63	24,34	29,64	27,49	20,21	24,38
	<i>SD</i>	2,59	2,86	2,67	3,51	1,99	1,11
Oberarm links %	<i>MW</i>	27,05	23,79	29,64	27,59	21,04	25,68
	<i>SD</i>	1,55	1,51	1,3	2,8	1,64	1,38
Oberarm rechts %	<i>MW</i>	27,39	24,19	29,51	27,24	20,92	25,63
	<i>SD</i>	2,63	3,37	1,13	2,91	2,36	1,56
Oberkörper %	<i>MW</i>	keine	keine	keine	keine	22,78	26,39
	<i>SD</i>	Angaben	Angaben	Angaben	Angaben	3,94	2,77
Unterarm links %	<i>MW</i>	26,61	23,42	29,28	27,4	20,90	25,08
	<i>SD</i>	1,63	1,75	1,27	2,73	2,26	1,59
Unterarm rechts %	<i>MW</i>	26,65	24,06	29,55	29,02	21,39	25,25
	<i>SD</i>	2,26	3,25	1,33	4,97	2,99	1,46
Oberschenk. links %	<i>MW</i>	26,79	22,99	28,99	26,82	19,62	24,23
	<i>SD</i>	0,91	0,69	1,31	2,95	2,14	1,36
Oberschenk. rechts %	<i>MW</i>	26,58	22,95	28,98	26,78	19,91	24,34
	<i>SD</i>	0,45	0,72	1,26	2,92	1,59	1,28
Knöchel links %	<i>MW</i>	29,30	25,51	31,82	30,11	21,71	26,13
	<i>SD</i>	1,10	1,01	1,24	4,48	2,11	0,99
Knöchel rechts %	<i>MW</i>	29,95	26,32	32,13	29,00	23,75	27,30
	<i>SD</i>	2,01	2,26	1,62	2,42	3,71	1,71

Anmerkung: ECCO III - Oberarm links: n=9

Wie in der Tabelle 5 ersichtlich, wurde insbesondere an den Knöcheln die feuchteste Luft gemessen. Eine eher trockenere Luft herrschte fast in jedem Klimafall an den Oberschenkeln.

Tabelle 6: Durchschnittliche Temperatur- und Luftfeuchtwerte zusammenfassend für alle Körperteile und alle Vpn pro Klimafall (n=10)

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Temperatur °C	<i>MW</i>	25,61	26,47	26,12	27,4	26,45	27,86
	<i>SD</i>	2,19	2,09	1,9	1,65	1,80	1,61
Luftfeuchtigkeit %	<i>MW</i>	27,54	24,21	30,06	27,97	21,25	25,48
	<i>SD</i>	2,14	2,33	1,85	3,45	2,79	1,81

Die wärmste Temperatur in der Körperumgebung der Probanden wurde erwartungsgemäß im wärmsten Klimafall Cruise A6 gemessen, die kühlsste Temperatur im kühlssten Klimafall Cruise A1.

3.1.3 Klima in Längsreihen

Zur Überprüfung von Messunterschieden zwischen den Längsreihen werden die Temperatur- und Luftfeuchtwerte an den Körperteilen der Probanden zu Gesamtmittelwerten pro Sitzreihe längs zusammengefasst und im Folgenden dargestellt.

Tabelle 7: Durchschnittliche Temperatur je nach Sitzreihe über alle Körperteile und alle Vpn pro Klimafall (n=10)

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Fensterreihe °C	<i>MW</i>	26,10	26,82	26,63	27,62	27,05	28,35
	<i>SD</i>	1,97	1,83	2,03	1,79	1,69	1,69
Mittlere Reihe °C	<i>MW</i>	26,66	27,66	26,31	27,74	27,01	28,45
	<i>SD</i>	2,38	2,51	1,75	1,54	1,73	1,73
Gangreihe °C	<i>MW</i>	24,60	25,55	25,52	27,01	25,58	27,06
	<i>SD</i>	1,91	1,71	1,68	1,50	1,58	1,58

Anmerkung: Fensterreihe n=4; mittlere Reihe n=2; Gangreihe n=4

Wie Tabelle 7 demonstriert, herrschte in jedem Klimafall eine geringere Temperatur am Gang. Es zeigen sich keine bemerkenswerten Temperaturunterschiede zwischen der Fensterreihe und der mittleren Reihe.

Tabelle 8: Durchschnittliche Luftfeuchte je nach Sitzreihe über alle Körperteile und alle Vpn pro Klimafall (n=10)

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Fensterreihe %	<i>MW</i>	27,59	24,41	29,84	28,25	21,74	25,85
	<i>SD</i>	0,99	1,09	1,87	3,90	2,99	2,99
Mittlere Reihe %	<i>MW</i>	28,48	25,64	30,37	28,45	22,11	25,40
	<i>SD</i>	0,32	0,04	2,01	3,10	2,83	2,83
Gangreihe %	<i>MW</i>	27,03	23,31	30,11	27,45	20,33	25,14
	<i>SD</i>	0,54	0,67	1,74	3,09	2,28	2,28

Anmerkung: Fensterreihe n=4; mittlere Reihe n=2; Gangreihe n=4

Die mittleren Sitzreihen zeichnen sich durch eine überwiegend höhere Luftfeuchte aus (s. Tabelle 8), am trockensten zeigte sich die Umgebungsluft auf den Gangplätzen.

3.1.4 Klima und Geschlecht

Um zu prüfen, ob Geschlechtsunterschiede in der Temperatur- und in der Luftfeuchtemessung an Körperteilen bestehen, werden die Durchschnittswerte sowohl weiblicher (n = 5) als auch männlicher (n=5) Versuchspersonen zusammenfassend für alle Körperteile pro Klimafall gebildet.

Tabelle 9: Durchschnittliche Temperatur männlicher und weiblicher Vpn über alle Körperteile hinweg pro Klimafall

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Männer °C	<i>MW</i>	25,48	26,28	26,02	27,38	26,39	27,88
	<i>SD</i>	1,95	1,83	1,85	1,71	1,86	1,68
Frauen °C	<i>MW</i>	25,73	26,67	26,22	27,42	26,51	27,84
	<i>SD</i>	2,42	2,32	1,95	1,61	1,75	1,54

Generell zeigen sich keine Temperaturunterschiede in der Körperumgebung zwischen Männern und Frauen.

Tabelle 10: Durchschnittliche Luftfeuchte männlicher und weiblicher Vpn über alle Körperteile hinweg pro Klimafall

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Männer %	<i>MW</i>	27,71	24,47	29,97	28,71	21,09	25,28
	<i>SD</i>	1,92	2,18	1,92	3,93	2,68	1,85
Frauen %	<i>MW</i>	27,40	24,28	30,14	27,24	21,41	25,67
	<i>SD</i>	2,35	2,48	1,90	2,46	2,90	1,76

Hinsichtlich der Luftfeuchte zeigen sich ebenfalls keine Messunterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden.

3.1.5 Klima in der Körperumgebung von Dummies

Mittels der Dantec-Sonden wurden die Lufttemperatur und die Luftgeschwindigkeit in der Körperumgebung der Dummies ermittelt. Im ECCO I wurden zwei Dummies vermessen, die in der 8. Querreihe auf der linken Seite der Kabine saßen. Die Ausprägung der Klimaparameter wurde an folgenden Körperteilen gemessen: rechte Schulter, Brustbereich, rechtes Knie und rechter Fuß. Im ECCO II handelt es sich um fünf Dummies (7. Querreihe), bei denen das Umgebungsklima am Kopf (vor der Nase), am Bauch, am Knie, zwischen den Füßen sowie am Knöchel erfasst wurde. Und die Messungen im ECCO III beziehen sich auf die acht Dummies (Fenster- und Gang-Plätze), die in der 7. und 8. Querreihe saßen. Es wurden die Temperatur und der Luftzug am Kopf (vor der Nase), am Knie sowie am Knöchel gemessen. Die Ergebnisse einzelner Messungen werden zu Gesamtmittelwerten zusammengefasst und pro Klimafall sowie pro Klimaparameter in der Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Durchschnittliche Temperatur (Dantec-Sonden) und Luftgeschwindigkeit (Dantec-Sonden) am Körper der Dummies pro Klimafall

Versuch		ECCO I		ECCO II		ECCO III	
		Cruise A1 (21,6 °C)	Cruise A2 (23 °C)	Cruise A3 (22 °C)	Cruise A4 (25 °C)	Cruise A5 (24 °C)	Cruise A6 (26 °C)
Temperatur °C	<i>MW</i>	21,29	22,87	22,57	24,90	23,18	25,20
	<i>SD</i>	0,65	0,56	0,77	0,56	0,63	0,45
Luftzug °C	<i>MW</i>	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	0,13
	<i>SD</i>	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabelle 11 zeigt, dass mit der zunehmenden Kabinentemperatur eine höhere Lufttemperatur in der Körperumgebung der Dummies gemessen wurde. Der stärkste Luftzug wurde im Klimafall Cruise A3 festgestellt.

Außerdem fällt auf, dass die Temperaturmessungen am Körper der Dummies deutlich niedriger waren als in der Körperumgebung der Versuchspersonen.

3.2 Subjektive Klimabewertung

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse zum subjektiven Wohlbefinden für die sechs untersuchten Klimafälle dargestellt. Untersucht wurden insgesamt 170 Personen; in die Analyse gehen aufgrund des Verlusts eines Datensatzes Daten von insgesamt 169 Probanden ein.

3.2.1 Subjektive Einschätzung und Bewertung der Klimaparameter pro Klimafall

Zum Vergleich der subjektiven Urteile in Bezug auf die verschiedenen Klimaparameter wurden multivariate Varianzanalysen berechnet.

Zwischen den sechs Klimabedingungen zeigen sich Unterschiede in Bezug auf die Klima-Einschätzungen ($F_{(20; 1095,4)} = 7,73$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .10$, vgl. Tabelle 12, Abbildung 5): die Temperatur wird in Cruise A1 als am kühlpsten wahrgenommen, gefolgt von Cruise A3 und A2, und in Cruise A4 und A6 als am wärmsten. Den stärksten Luftzug spüren die Probanden in Cruise A1 und A3; den niedrigsten in A4 und A6. Die Luftfeuchte wird in allen Klimafällen recht ähnlich eingeschätzt, am höchsten in A3. In Bezug auf ihre Qualität wird die Luft in Cruise A1 und A3 als eher frisch empfunden, in Cruise A2 als mittelmäßig und in Cruise A4 und A6 als eher stickig.

Tabelle 12: Einschätzung der Klimaparameter

		Cruise A1 21,5°C	Cruise A3 22°C	Cruise A2 23°C	
Temperatur-Einschätzung	<i>M</i>	2,75	2,97	3,18	
(1 = <i>sehr kalt</i> bis 7 = <i>heiß</i>)	<i>SD</i>	0,96	1,02	1,10	
Luftzug-Einschätzung	<i>M</i>	3,31	3,46	2,81	
(1 = <i>gar nicht</i> bis 7 = <i>sehr stark</i>)	<i>SD</i>	1,52	1,62	1,36	
Luftfeuchtigkeit-Einschätzung	<i>M</i>	3,17	3,49	3,07	
(1 = <i>sehr trocken</i> bis 7 = <i>sehr feucht</i>)	<i>SD</i>	0,76	0,94	0,78	
Luftqualität-Einschätzung	<i>M</i>	4,31	4,48	3,95	
(1 = <i>sehr stickig</i> bis 7 = <i>sehr frisch</i>)	<i>SD</i>	0,99	1,27	0,99	

		Cruise A5 24°C	Cruise A4 25°C	Cruise A6 26°C	Partielles <i>Eta</i> ²
Temperatur-Einschätzung	<i>M</i>	3,56	4,41	4,14	.27**
(1 = <i>sehr kalt</i> bis 7 = <i>heiß</i>)	<i>SD</i>	0,95	0,91	1,11	
Luftzug-Einschätzung	<i>M</i>	2,96	2,28	2,51	.09**
(1 = <i>gar nicht</i> bis 7 = <i>sehr stark</i>)	<i>SD</i>	1,23	1,01	1,04	
Luftfeuchtigkeit-Einschätzung	<i>M</i>	3,2	3,27	3,25	.02
(1 = <i>sehr trocken</i> bis 7 = <i>sehr feucht</i>)	<i>SD</i>	0,89	1,04	1,05	
Luftqualität-Einschätzung	<i>M</i>	3,71	3,33	3,31	.15**
(1 = <i>sehr stickig</i> bis 7 = <i>sehr frisch</i>)	<i>SD</i>	0,92	1,22	1,14	

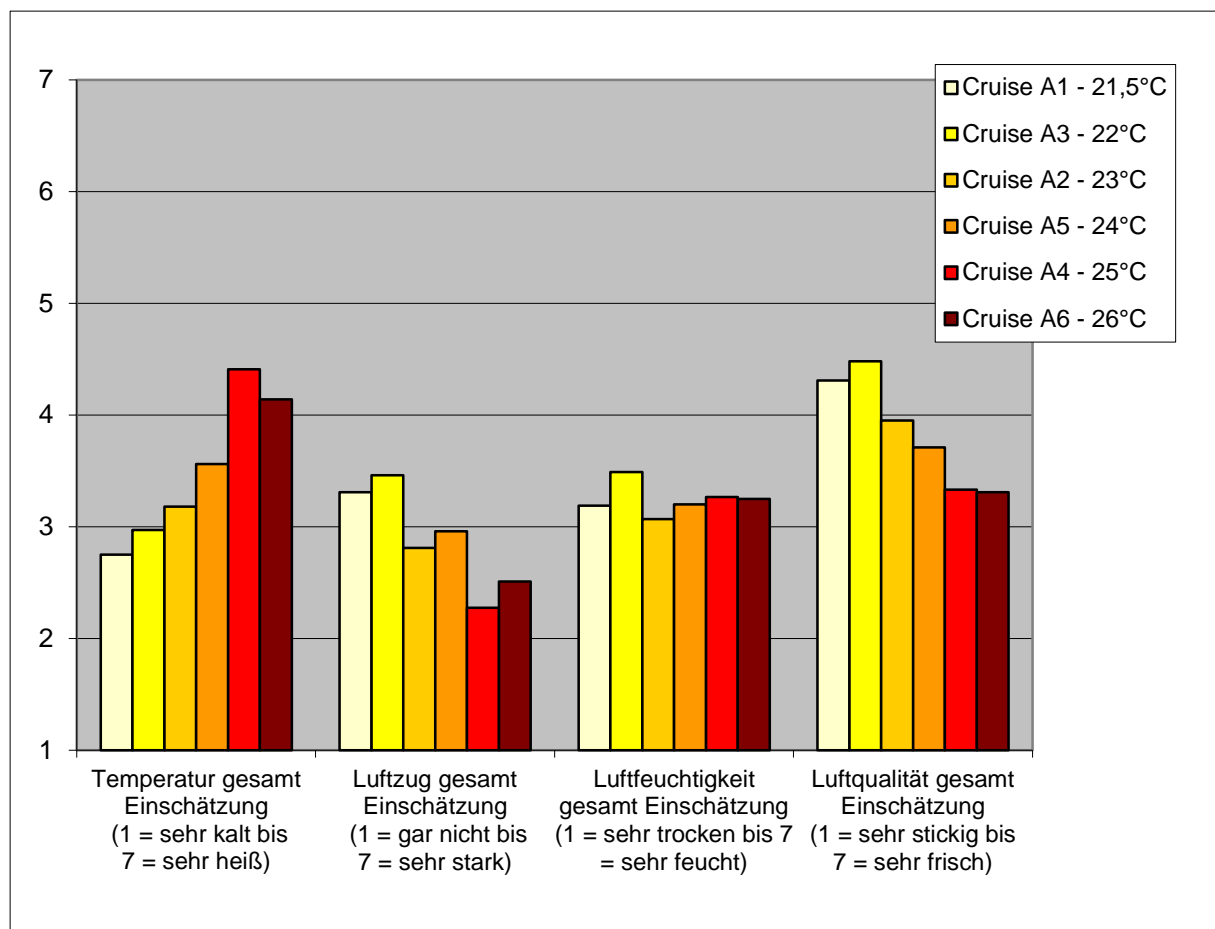


Abbildung 5: Einschätzung der Klimaparameter

Auch in Bezug auf die Klima-Bewertung ergeben sich unterschiedliche Werte für die sechs Klimafälle ($F_{(20;1095,4)} = 4,05$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .06$, vgl. Tabelle 13). Wie Abbildung 6 zeigt, wird die Temperatur im kühlssten Klimafall A1 als am unangenehmsten empfunden, im zweitwärmsten Klimafall A4 als am angenehmsten. Auch der Luftzug wird in Cruise A1 als am unangenehmsten und in A4 und A6 als am angenehmsten beurteilt. Die Luftfeuchtigkeit wird in Cruise A3 als angenehmer empfunden als in den anderen Klimafällen. Die Luftqualität ist in Cruise A1 und A3 am angenehmsten, in den wärmsten Fällen Cruise A4 und A6 am unangenehmsten.

Tabelle 13: Bewertung der Klimaparameter (1 = *sehr unangenehm* bis 5 = *sehr angenehm*)

		Cruise A1 21,5°C	Cruise A3 22°C	Cruise A2 23°C	
Temperatur-Bewertung	<i>M</i>	2,38	2,83	2,69	
	<i>SD</i>	0,87	1,16	0,95	
Luftzug-Bewertung	<i>M</i>	2,67	2,80	2,80	
	<i>SD</i>	0,93	1,02	0,86	
Luftfeuchtigkeit-Bewertung	<i>M</i>	2,76	3,21	2,82	
	<i>SD</i>	0,58	0,83	0,59	
Luftqualität-Bewertung	<i>M</i>	3,12	3,33	3,08	
	<i>SD</i>	0,66	0,82	0,71	

		Cruise A5 24°C	Cruise A4 25°C	Cruise A6 26°C	Partielles <i>Eta</i> ²
Temperatur-Bewertung	<i>M</i>	2,94	3,24	2,87	.07**
	<i>SD</i>	0,92	0,89	0,91	
Luftzug-Bewertung	<i>M</i>	3,03	3,36	3,17	.07**
	<i>SD</i>	0,91	0,85	0,90	
Luftfeuchtigkeit-Bewertung	<i>M</i>	2,86	2,93	2,82	.04*
	<i>SD</i>	0,71	0,79	0,85	
Luftqualität-Bewertung	<i>M</i>	2,95	2,84	2,8	.05**
	<i>SD</i>	0,73	0,85	0,79	

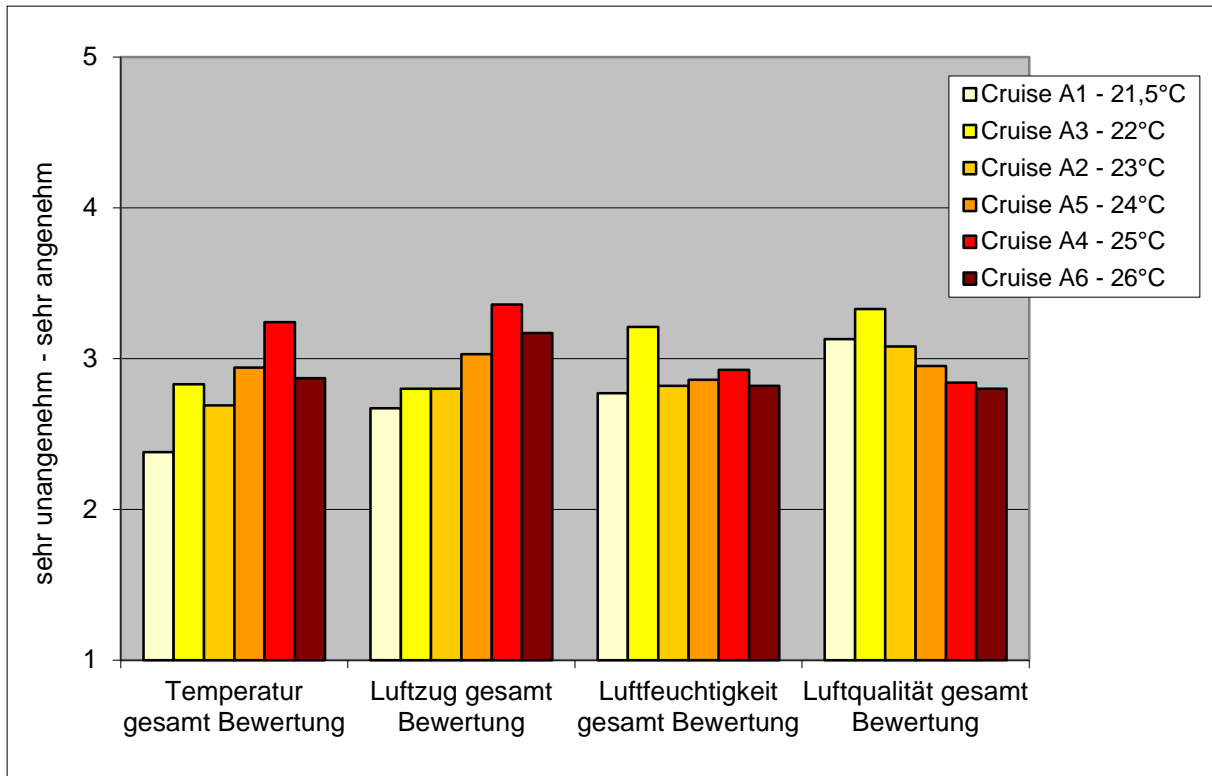


Abbildung 6: Bewertung der Klimaparameter

Die Klimapräferenz fällt für die untersuchten Klimafälle deutlich unterschiedlich aus (s. Abbildung 7): während die Probanden in Cruise A1 sowie in A3 und A2 es größtenteils gerne wärmer gehabt hätten, hätten die meisten Probanden es in Cruise A4 und A6 gerne kälter gehabt. Nur max. 26 % wünschten sich hier eine höhere Temperatur. Als „gut so“ wurde die Temperatur vor allem in den wärmeren Klimafällen A4, A5 und A6 beurteilt; nur 10 % trafen diese Aussage in Klima A1.

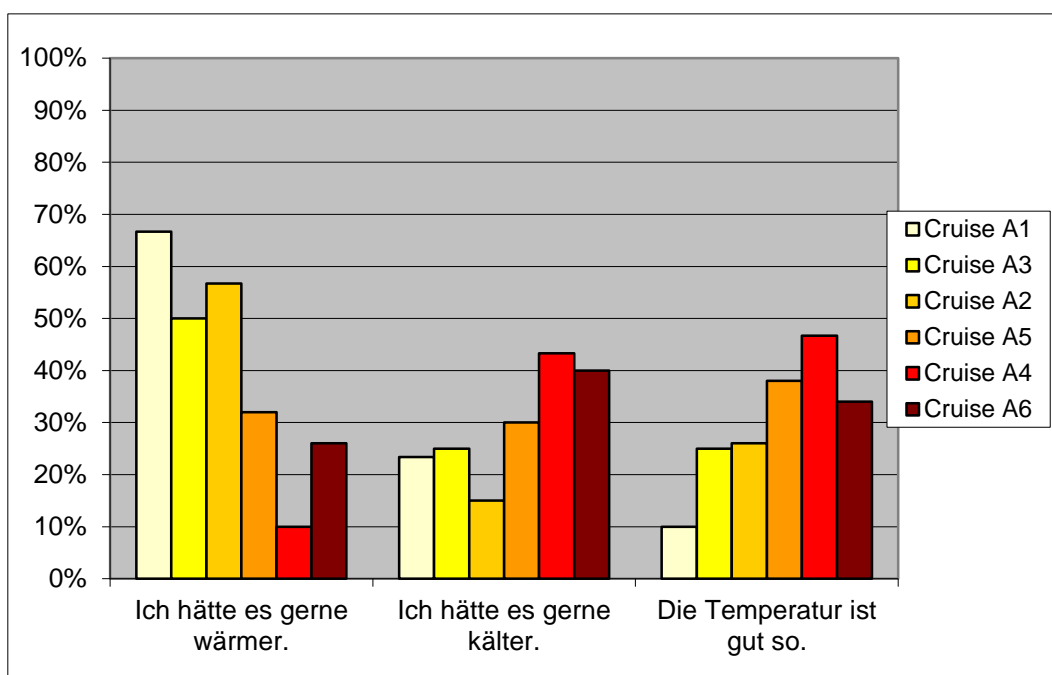


Abbildung 7: Temperaturpräferenz für die Klimafälle Cruise A1 bis Cruise A6

Es gibt Unterschiede in der Zufriedenheit mit den sechs Klimafällen ($F_{(5, 333)} = 2,36$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .03$): je wärmer der Klimafall, desto höher die Zufriedenheit (vgl. Tabelle 14 und Abbildung 8f).

Tabelle 14: Bewertung der gesamten Klimasituation

		Cruise A1 21,5°C	Cruise A3 22°C	Cruise A2 23°C	
Klima gesamt – Zufriedenheit	<i>M</i>	2,73	2,96	3,02	
(1 = <i>sehr unzufrieden</i> bis 5 = <i>sehr zufrieden</i>)	<i>SD</i>	0,70	0,85	0,74	

		Cruise A5 24°C	Cruise A4 25°C	Cruise A6 26°C	<i>Partielles Eta²</i>
Klima gesamt – Zufriedenheit	<i>M</i>	3,05	3,15	3,14	.03*
(1 = <i>sehr unzufrieden</i> bis 5 = <i>sehr zufrieden</i>)	<i>SD</i>	0,74	0,77	0,74	

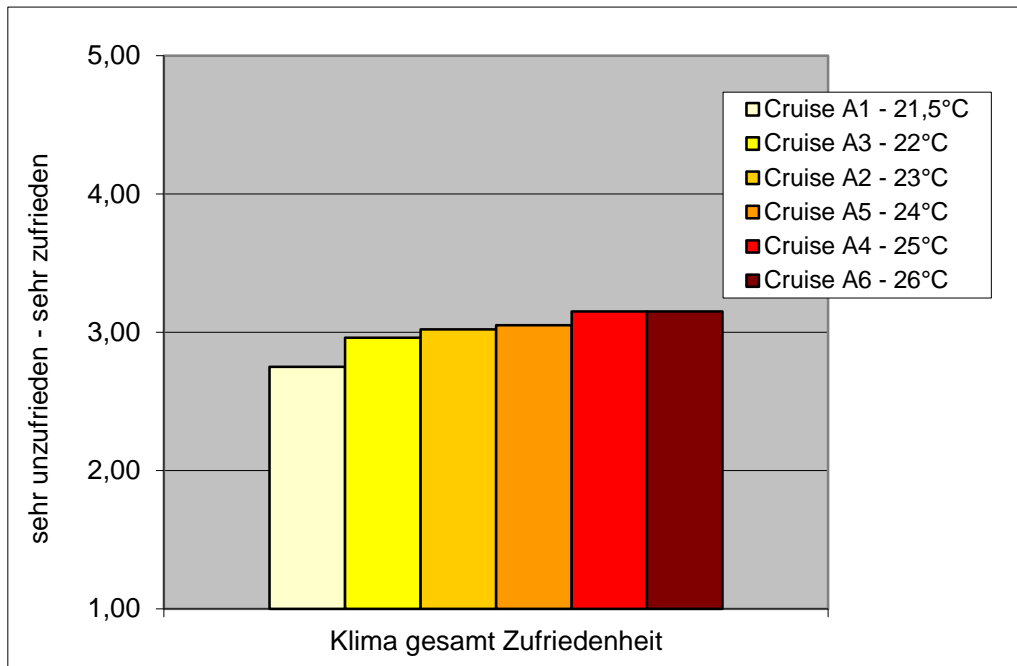


Abbildung 8: Bewertung der gesamten Klimasituation

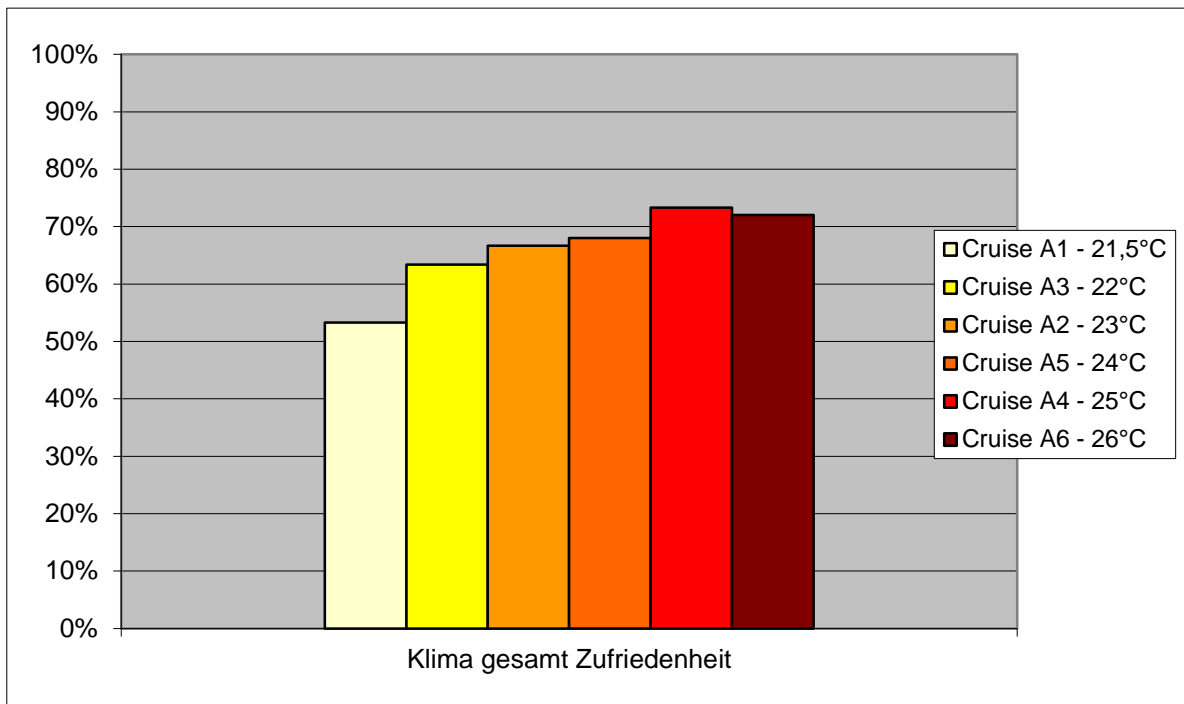


Abbildung 9: Anteil Zufriedener pro Klimafall (Prozent der Pbn mit Skalenwert 3, 4 oder 5)

3.2.2 Einschätztes Wohlbefinden pro Klimafall

3.2.2.1 MDBF

In Bezug auf die Variable „Gute Stimmung“ zeigt sich kein bedeutsamer Unterschied ($F_{(5; 333)} = 0,28$, n. s., $\eta_p^2 = .00$). Auch für die „Ruhe“ lassen sich keine Effekte beobachten ($F_{(5; 333)} = 1,08$, n. s., $\eta_p^2 = .02$). Nur für die Dimension „Wachheit“ gibt es einen signifikanten Effekt ($F_{(5; 333)} = 3,21$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .05$, vgl. Tabelle 15 und Abbildung 10): die Probanden sind in Klimafall A6 signifikant müder als in den übrigen Klimafällen.

Tabelle 15: Einschätzung der MDBF-Variablen pro Klimafall

		Cruise A1 21,5°C	Cruise A3 22°C	Cruise A2 23°C	Partielles η^2
Gute Stimmung	M	3,85	3,91	3,89	
(1 = gar nicht bis 5 = völlig)	SD	,79	,74	,82	
Wachheit	M	3,38	3,50	3,24	
(1 = gar nicht bis 5 = völlig)	SD	,69	,82	,79	
Ruhe	M	3,94	4,00	3,99	
(1 = gar nicht bis 5 = völlig)	SD	,66	,69	,71	

		Cruise A5 24°C	Cruise A4 25°C	Cruise A6 26°C	Partielles η^2
Gute Stimmung	M	3,83	3,97	3,84	.00
(1 = gar nicht bis 5 = völlig)	SD	,72	,72	,76	
Wachheit	M	3,22	3,21	2,93	.05**
(1 = gar nicht bis 5 = völlig)	SD	,70	,88	,80	
Ruhe	M	3,85	4,08	3,81	.02
(1 = gar nicht bis 5 = völlig)	SD	,76	,70	,85	

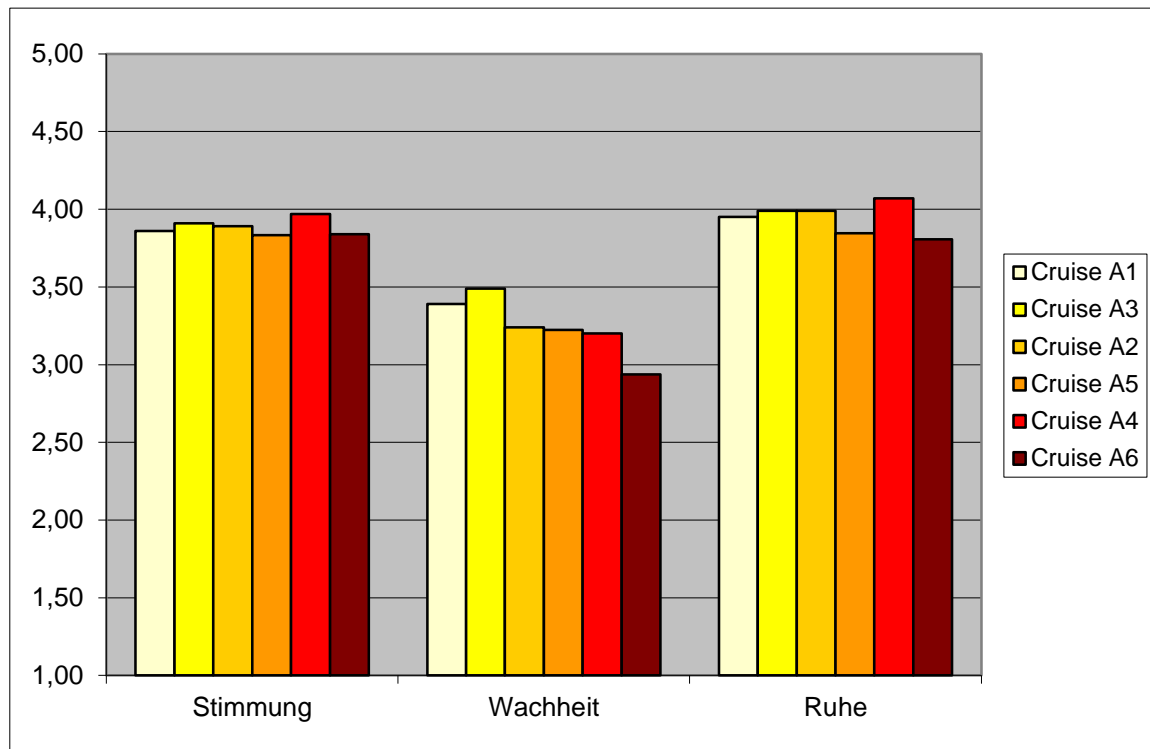


Abbildung 10: Einschätzung der MDBF-Variablen pro Klimafall

3.2.2.2 FAW

Für die Leistungsfähigkeit ($F_{(5; 333)} = 1,87$, $p < .10$, $\eta_p^2 = .03$) ergibt sich ein tendenzieller Effekt für die Klimabedingungen: die Probanden fühlen sich im Klima A6 tendenziell weniger leistungsfähig als in den übrigen Klimafällen. Für die Behaglichkeit ($F_{(5; 333)} = 1,28$, n. s., $\eta_p^2 = .02$) ergeben sich keine bedeutsamen Unterschiede (vgl. Tabelle 16 und Abbildung 11).

Tabelle 16: Einschätzung der FAW-Variablen pro Klimafall

		Cruise A1 21,5°C	Cruise A3 22°C	Cruise A2 23°C	Partielles η^2
Leistungsfähigkeit (1 = <i>gar nicht</i> bis 5 = <i>völlig</i>)	M	3,92	3,84	3,81	
	SD	,71	,67	,78	
Behaglichkeit (1 = <i>gar nicht</i> bis 5 = <i>völlig</i>)	M	3,30	3,46	3,39	
	SD	,83	,76	,85	

		Cruise A5 24°C	Cruise A4 25°C	Cruise A6 26°C	Partielles η^2
Leistungsfähigkeit (1 = <i>gar nicht</i> bis 5 = <i>völlig</i>)	M	3,72	3,70	3,53	.03 ⁺
	SD	,69	,75	,76	
Behaglichkeit (1 = <i>gar nicht</i> bis 5 = <i>völlig</i>)	M	3,29	3,58	3,29	.02
	SD	,74	,82	,80	

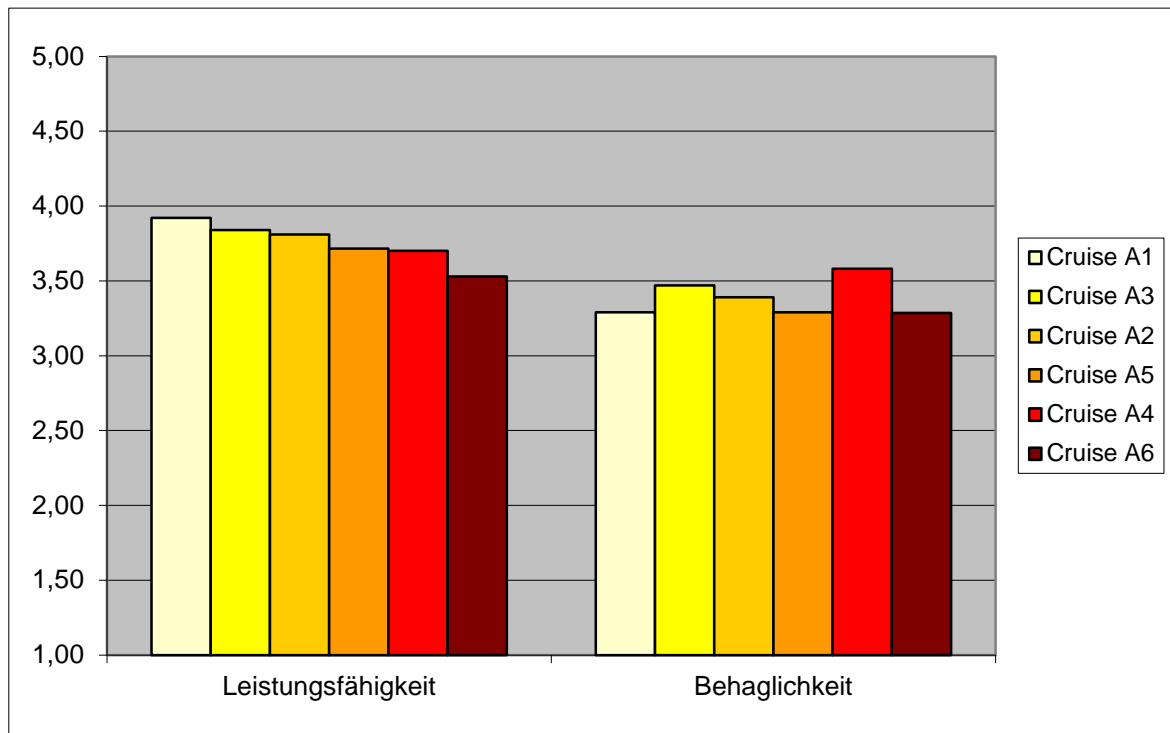


Abbildung 11: Einschätzung der FAW-Variablen pro Klimafall

3.2.3 Klimaempfinden pro Körperbereich

Die Einschätzung und die Bewertung von Temperatur und Luftzug wurden für 20 verschiedene Körperteile erhoben. Es wurde überprüft, ob sich Unterschiede in Abhängigkeit von der Klimabedingung oder den Körperteilen ergeben und welche Körperteile sich in Bezug auf die Einschätzung und Behaglichkeit von Temperatur und Luftzug besonders auffällig von den übrigen unterscheiden.

3.2.3.1 Einschätzung und Bewertung der Temperatur pro Körperteil und Klimafall

Es zeigen sich unterschiedliche Einschätzungen der Temperatur abhängig vom Klimafall und vom Körperteil. Auch für die Bewertung der Temperatur ergeben sich Unterschiede in Abhängigkeit vom Klimafall und vom Körperteil.

Insgesamt werden die Körperteile über die Klimafälle hinweg recht ähnlich beurteilt. Signifikante Abweichungen vom Gesamtmittel der Temperatur-Einschätzung ergeben sich für alle Klimafälle. Besonders eindeutig sind diese für die Stirn und den Kopfbereich im Allgemeinen, den Oberkörper und den Rücken, wo die Temperatur am höchsten eingeschätzt wird, sowie für die Unterschenkel und die Knöchel, die deutlich kühler eingeschätzt werden als der Rest. Parallel dazu lässt sich eine höhere Behaglichkeit der Körperteile ausmachen, je wärmer diese eingeschätzt werden. Beispielhaft sind der kälteste und der wärmste Klimafall dargestellt (s. Abbildung 12f).

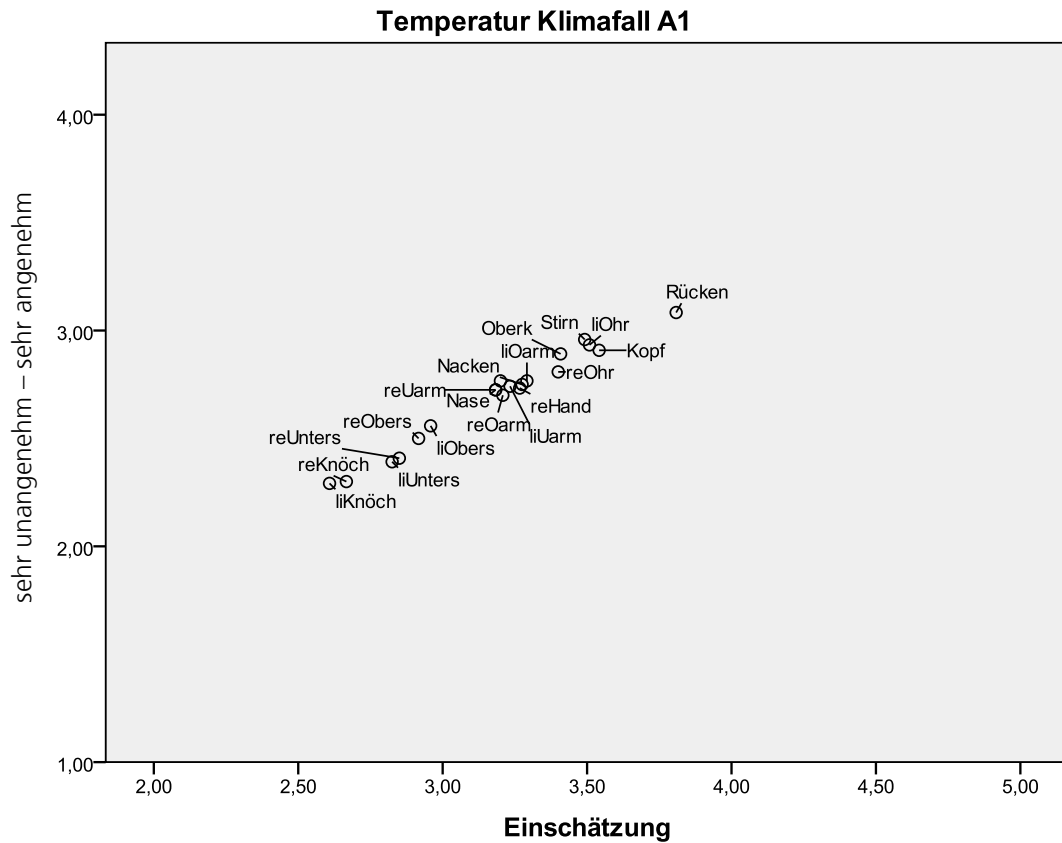


Abbildung 12: Temperatur-Einschätzung und Bewertung der Körperteile für Cruise A1

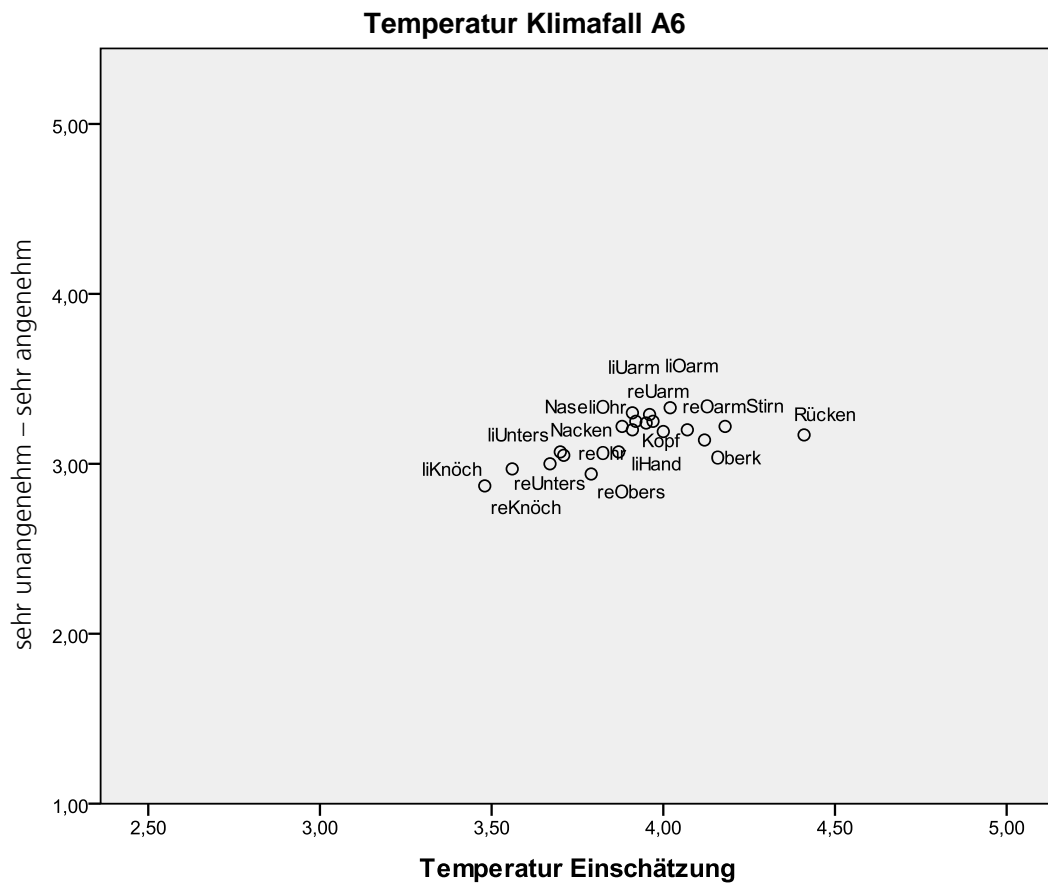


Abbildung 13: Temperatur-Einschätzung und Bewertung der Körperteile für Cruise A6

3.2.3.2 Einschätzung und Bewertung des Luftzugs pro Körperteil und Klimafall

In allen Klimafällen wird der Luftzug an den Körperteilen recht ähnlich eingeschätzt (s. Abbildung 14ff). Signifikante Abweichungen vom Gesamtmittel der Luftzug-Einschätzung ergeben sich lediglich für die Ohren und den Rücken, wo besonders wenig Luftzug gespürt wird, sowie für den Nacken und die Knöchel, wo teilweise deutlich mehr Luftzug empfunden wird als an den übrigen Körperteilen.

Entsprechend wird der Luftzug in Abhängigkeit vom Körperteil auch relativ ähnlich bewertet. Unterschiede ergeben sich nur für die Klimafälle A1, A2 (und A5): Der Luftzug an Stirn und Rücken wird hier als angenehmer bewertet, der Luftzug an den Unterschenkeln und Knöcheln als unangenehmer als an den restlichen Körperteilen.

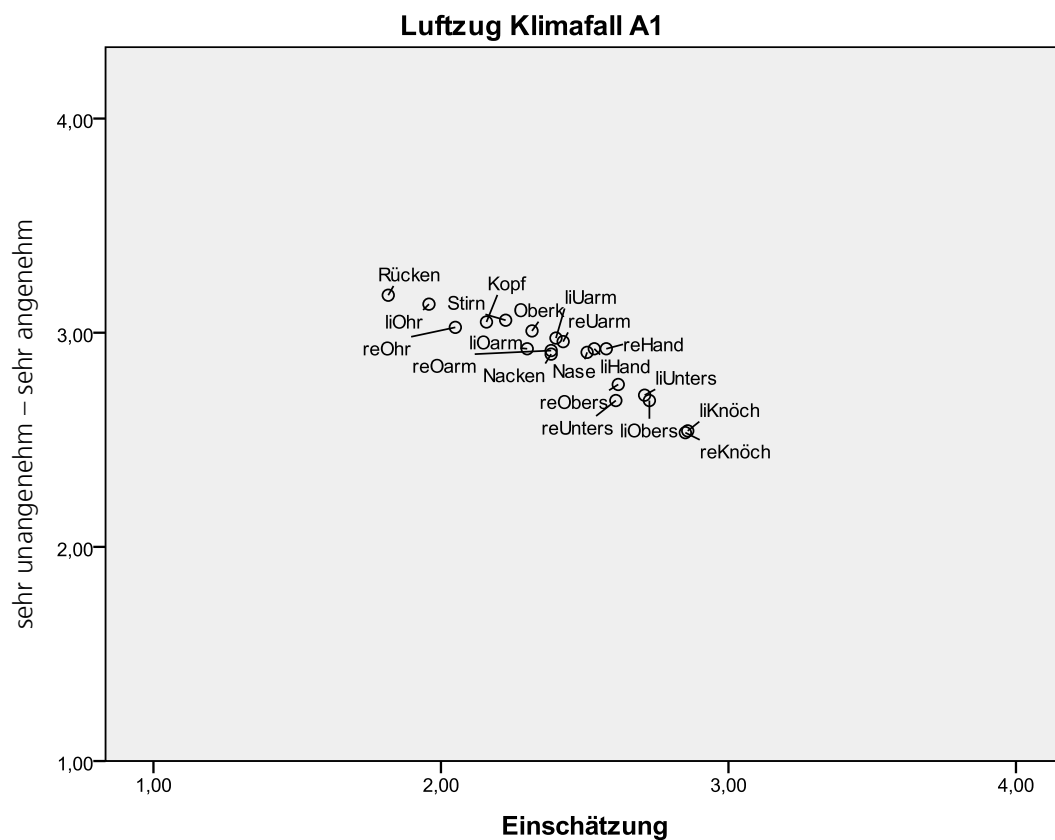


Abbildung 14: Luftzug-Einschätzung und -Bewertung der Körperteile für Cruise A1

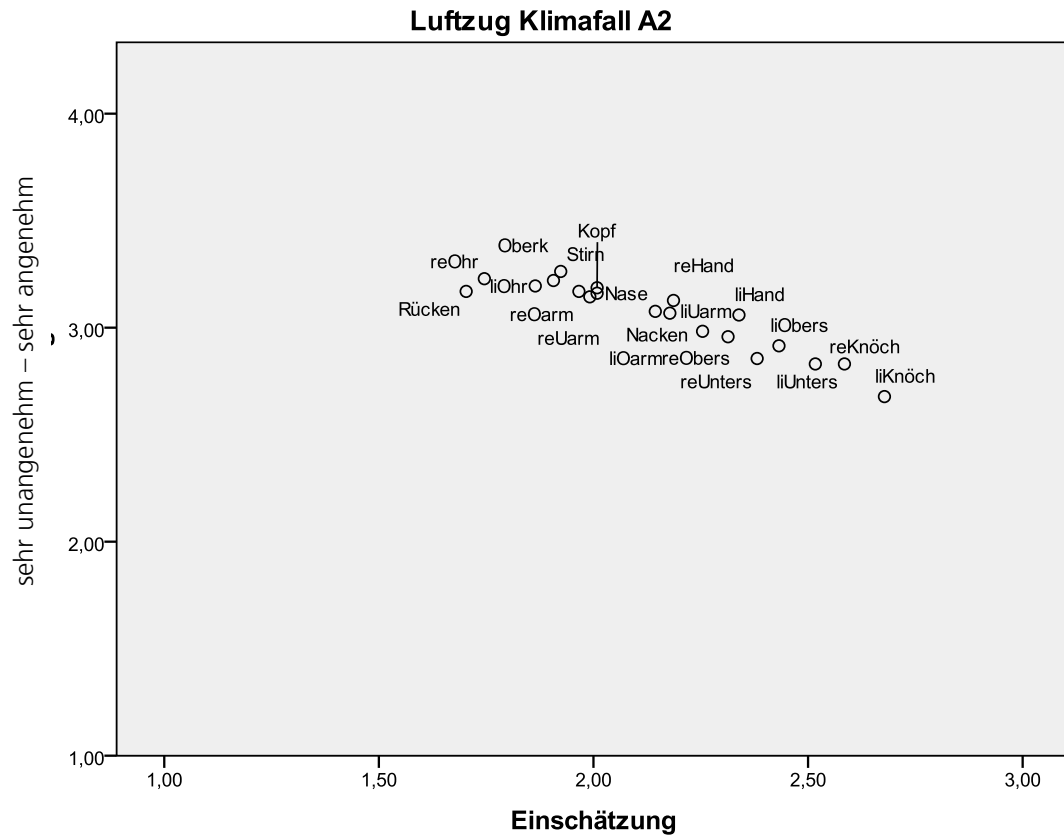


Abbildung 15: Luftzug-Einschätzung und -Bewertung der Körperteile für Cruise A2

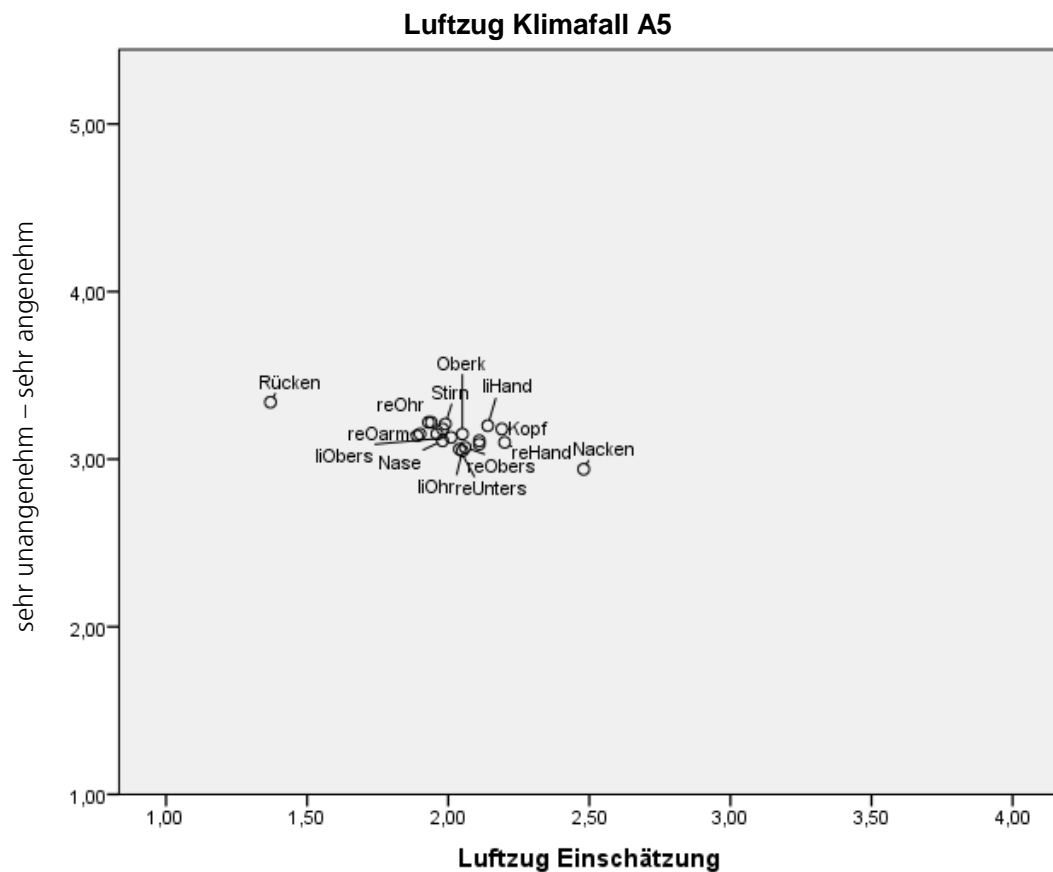


Abbildung 16: Luftzug-Einschätzung und -Bewertung der Körperteile für Cruise A5

3.2.4 Komfort in der Sitzreihe

Zur Überprüfung von Unterschieden in den Klimabewertungen, die auf die Sitzplätze der Probanden zurückgehen, wurde die Sitzlängsreihe als unabhängige Variable analysiert.

3.2.4.1 Einschätzung der Klimaparameter pro Sitzreihe längs

Abhängig davon, in welcher Sitzreihe die Probanden sitzen, werden die Klimaparameter signifikant unterschiedlich eingeschätzt ($F_{(16; 935,5)} = 7,45, p \leq .01, \eta_p^2 = .08$).

In der Einzelbetrachtung der Klimaparameter wird deutlich, dass dies für die Einschätzung von Temperatur, Luftzug und Luftqualität gilt, für die Luftfeuchtigkeit gibt es keine signifikanten Effekte (s. Tabelle 17 und Abbildung 17ff). Die Temperatur wird an den Gangplätzen am niedrigsten eingeschätzt, an den Fensterplätzen eher höher. Umgekehrt wird der Luftzug am Gang als relativ stark empfunden, an den Fensterplätzen als eher niedrig. Die Luftqualität ist in den wärmeren Klimafällen in der linken Kabinenhälfte (2 Sitze) höher.

Tabelle 17: Unterschiedseffekte in der Einschätzung der Klimaparameter je nach Sitzreihe

	<i>df</i>	<i>df</i> _{Fehler}	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2
Temperatur	4	309	23,03	.00	.23
Luftzug	4	309	15,37	.00	.17
Luftfeuchtigkeit	4	309	2,45	.05	.03
Luftqualität	4	309	5,46	.00	.07

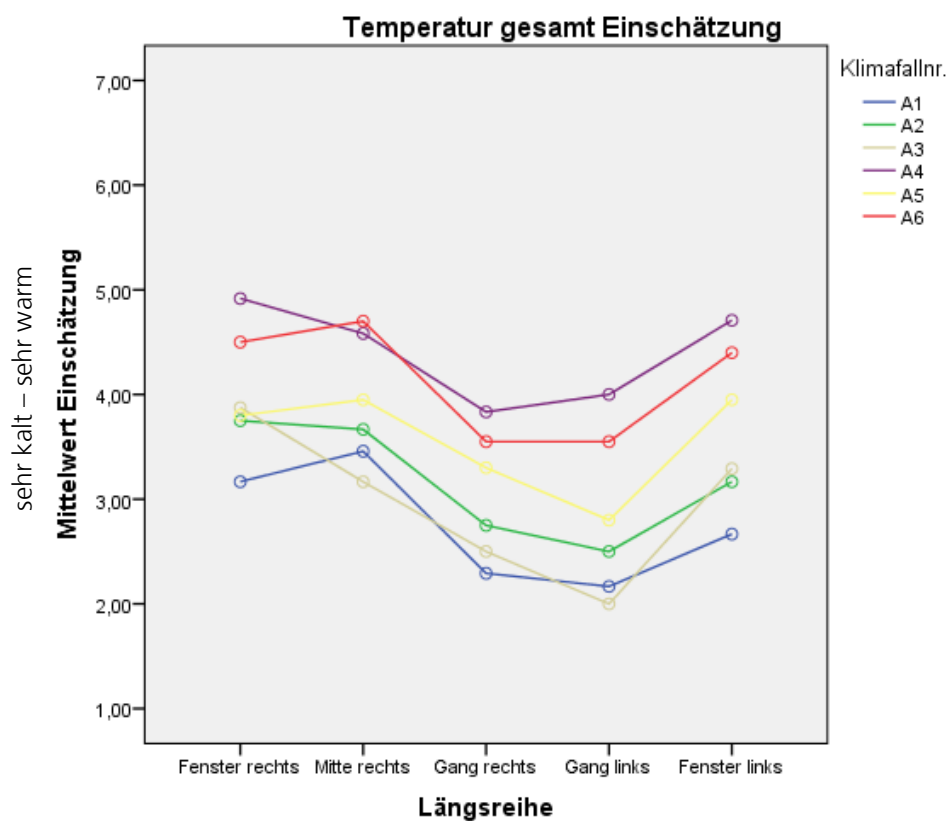


Abbildung 17: Temperatur-Einschätzung pro Sitzlängsreihe

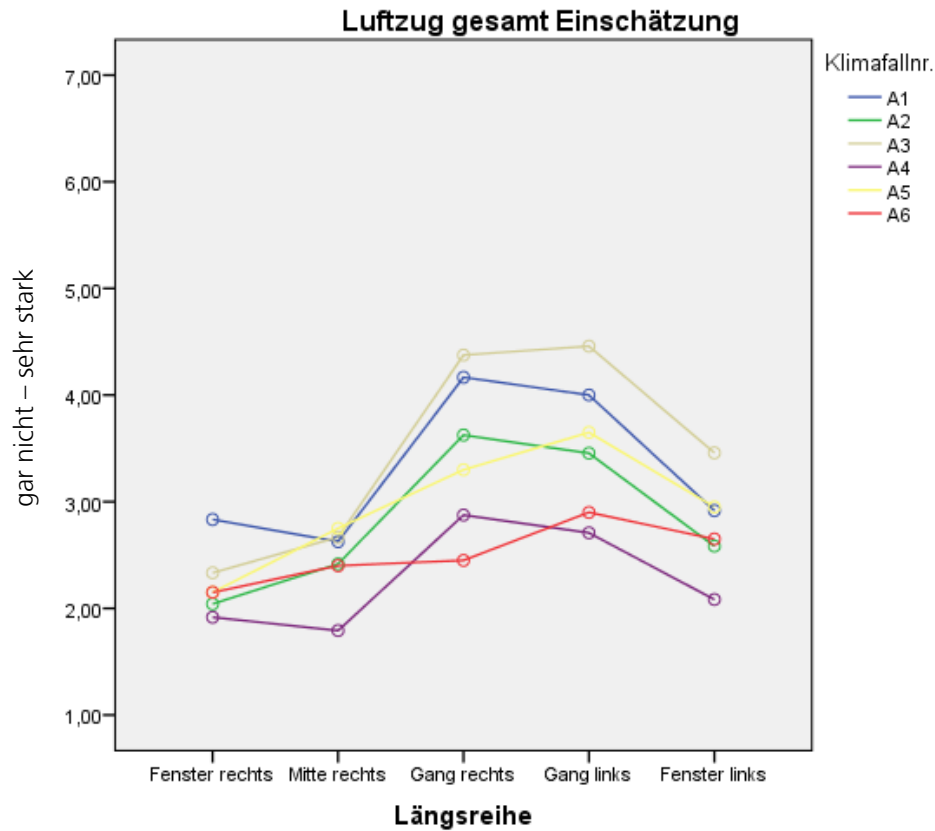


Abbildung 18: Luftzug-Einschätzung pro Sitzlängsreihe

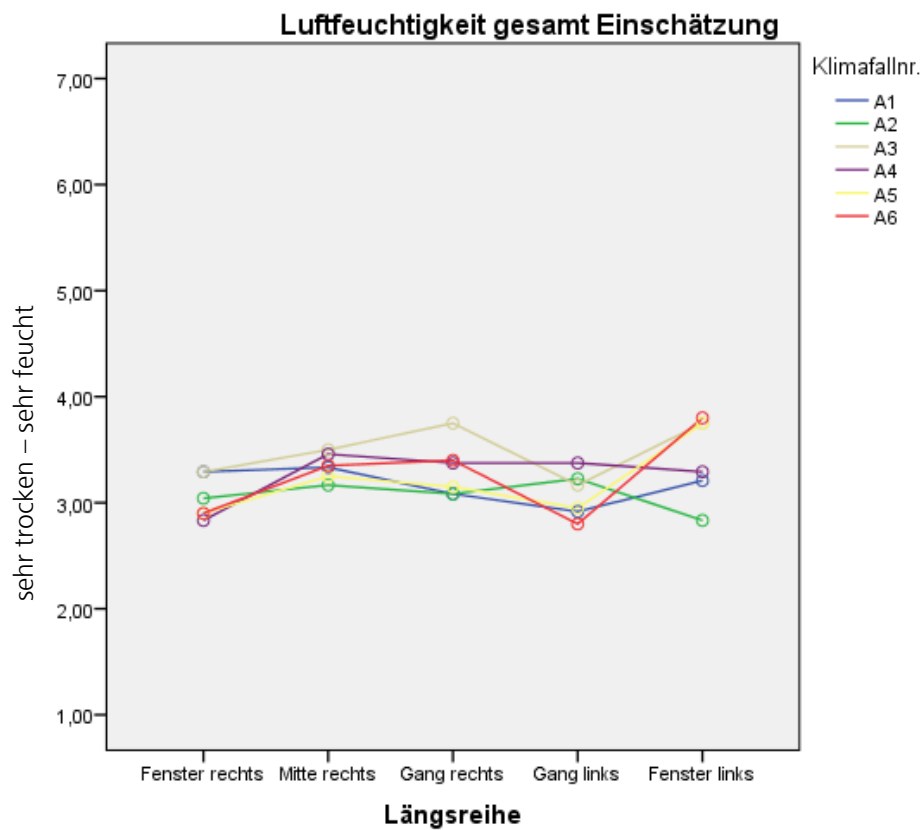


Abbildung 19: Luftfeuchtigkeit-Einschätzung pro Sitzlängsreihe

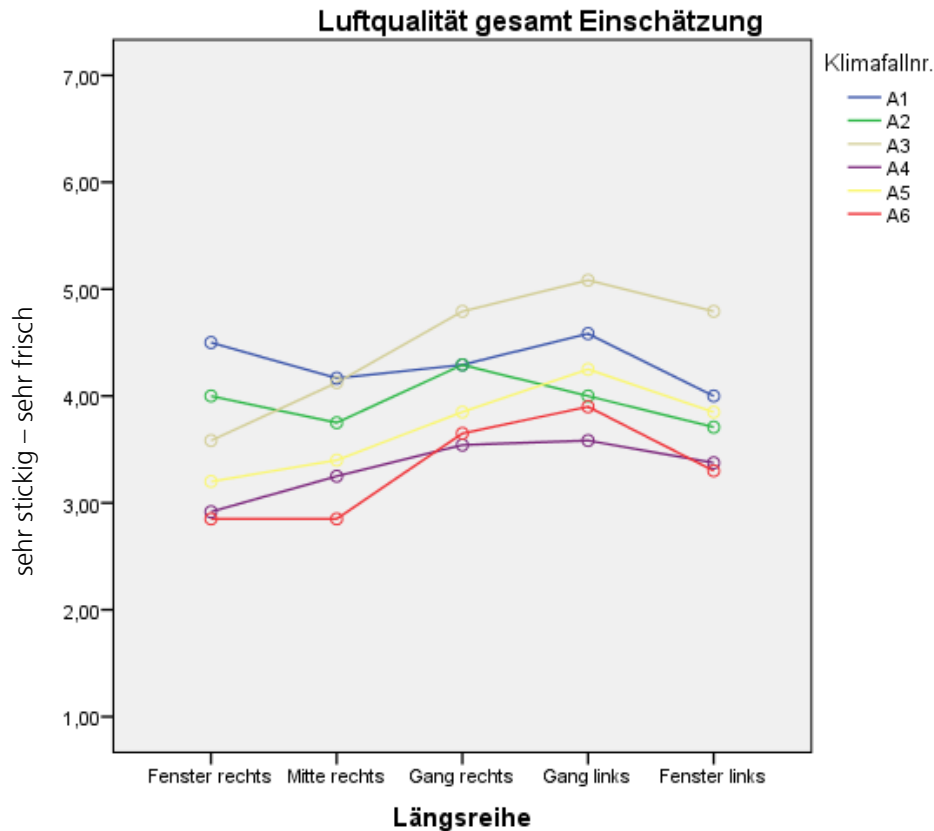


Abbildung 20: Luftqualität-Einschätzung pro Sitzlängsreihe

3.2.4.2 Bewertung der Klimaparameter pro Sitzreihe längs

Insgesamt zeigt sich für die Bewertung der Klimaparameter ein signifikanter Unterschied zwischen den Sitzreihen ($F_{(16; 935,5)} = 2,92$, $p \leq .01$, $\eta_p^2 = .04$). Die Einzelbetrachtung der Klimaparameter zeigt, dass dies für die Temperatur und den Luftzug gilt, für die Luftfeuchtigkeit und die Luftqualität gibt es hier keine bedeutsamen Effekte (s. Tabelle 18 und Abbildung 21f). An den Gangplätzen werden Temperatur und Luftzug besonders in den kühleren Klimafällen als unangenehmer bewertet.

Tabelle 18: Unterschiedseffekte in der Bewertung der Klimaparameter je nach Sitzreihe

	<i>df</i>	<i>df</i> _{Fehler}	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2
Temperatur	4	309	4,72	,00	,06
Luftzug	4	309	4,53	,00	,06
Luftfeuchtigkeit	4	309	0,31	,87	,00
Luftqualität	4	309	1,84	,12	,02

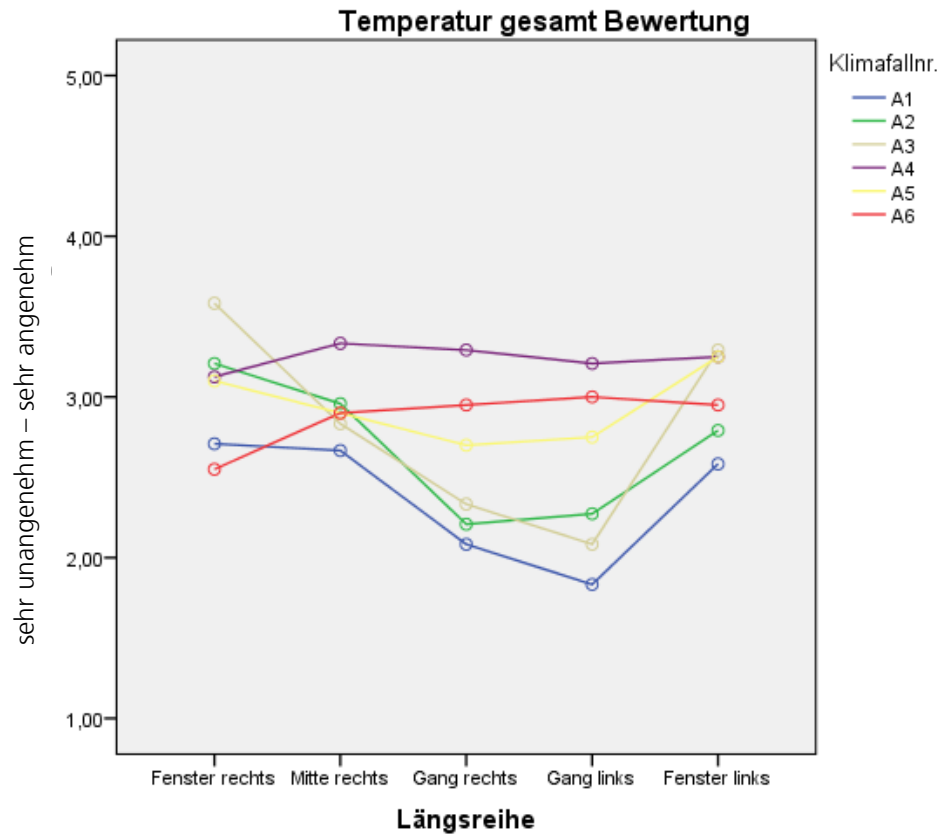


Abbildung 21: Temperatur-Bewertung pro Sitzlängsreihe

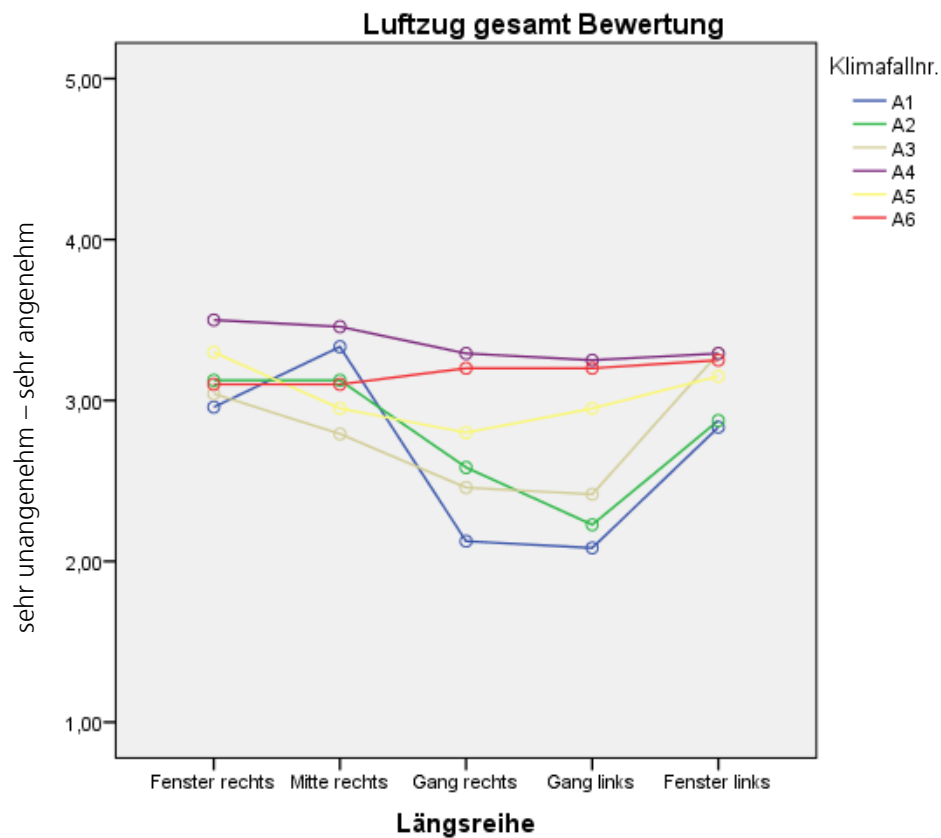


Abbildung 22: Luftzug-Bewertung pro Sitzlängsreihe

3.2.4.3 Klima gesamt in der Sitzreihe längs

Zwischen den Sitzreihen zeigt sich insgesamt ein Unterschied hinsichtlich der Zufriedenheit mit dem Klima ($F_{(4, 309)} = 6,93$, $p \leq .01$, $\eta_p^2 = .08$, s. Abbildung 23).

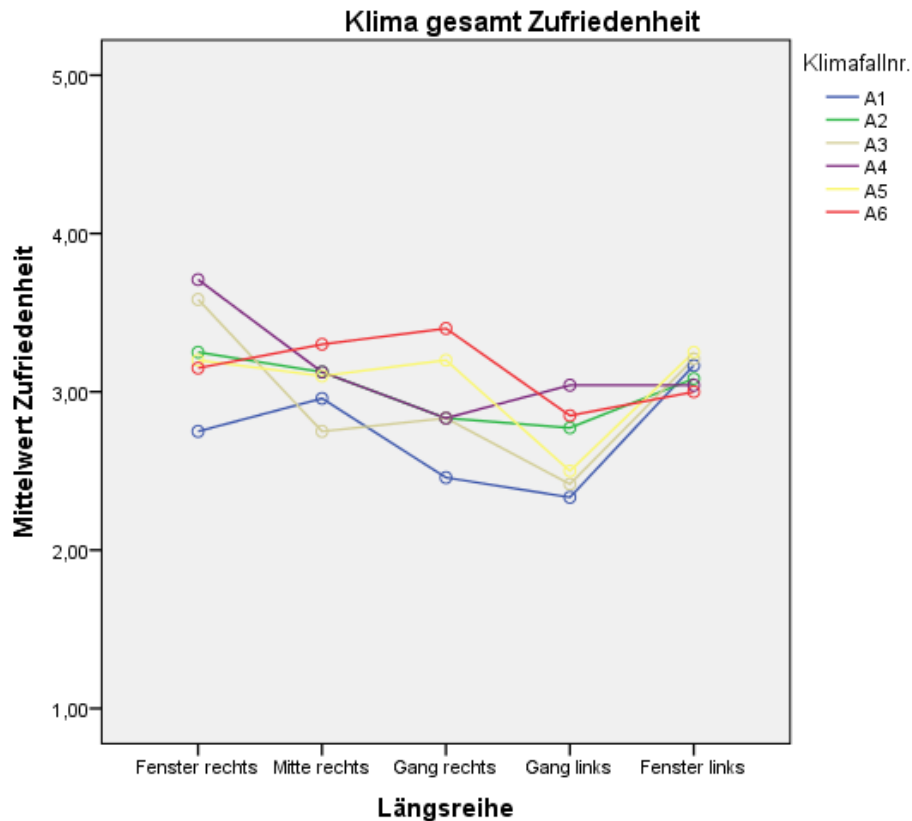


Abbildung 23: Klima-Zufriedenheit pro Sitzlängsreihe

3.2.4.4 Temperatur-Einschätzung in der Kabine – ein Überblick

Wie die Vergleiche der Temperatur-Einschätzungen für einzelne Sitzreihen zeigen, ist die Ausprägung der Temperatur in der Kabine heterogen. Um einen Überblick über die Temperaturverteilung zu bekommen, wurden Kabinenpläne erstellt, die die erfassten Mittelwerte zur Temperatur-Einschätzung pro Sitzplatz abbilden. Beispielhaft sind in Abbildung 24f der kälteste (A1: 21,5 °C) und der wärmste (A6: 26 °C) untersuchte Klimafall dargestellt.

Auch diese Darstellungsweise veranschaulicht, dass die Temperatur am Gang grundsätzlich als geringer eingeschätzt wird. Zudem wird deutlich, dass die Passagiere es im hinteren Teil der Kabine als wärmer empfinden als vorne.

Sitzplan Do 728					
	<i>Hinten</i>			<i>Hinten</i>	
66	67	68	14	69	70
4	5	4		2	4
61	62	63	13	64	65
3	4,5	2		3	4
56	57	58	12	59	60
3	3,5	3		2,5	3
51	52	53	11	54	55
2	3,5	2		2	1,5
46	47	48	10	49	50
3	1,5	2		2,5	2
41	42	43	9	44	45
4	2,5	1,5		3	2,5
36	37	38	8	39	40
31	32	33	7	34	35
3	3,5	3		2	2
26	27	28	6	29	30
4,5	3,5	2		1	3
21	22	23	5	24	25
3	4	1,5		3	2
16	17	18	4	19	20
4	4	3,5		2	3
11	12	13	3	14	15
1	3,5	1,5		2	2,5
6	7	8	2	9	10
3,5	2,5	1,5		1	2,5
1	2	3	1	4	5
	<i>Vorne</i>			<i>Vorne</i>	

Abbildung 24: Temperatur-Einschätzung pro Sitzplatz (21,5 °C, 1 = sehr kalt – 7 = heiß)

Sitzplan Do 728					
<i>Hinten</i>				<i>Hinten</i>	
66 2,5	67 5,5	68 3,5	14	69 3,5	70 6
61 4	62 4	63 3	13	64 3,5	65 3,5
56 4,5	57 5,5	58 6	12	59 5	60 5,5
51 5	52 6	53 4	11	54 5,5	55 5,5
46 5,5	47 5,5	48 3,5	10	49 1	50 4
41	42	43	9	44	45
36	37	38	8	39	40
31	32	33	7	34	35
26 5	27 4	28 4	6	29 2,5	30 3,5
21 3,5	22 4,5	23 2,5	5	24 3,5	25 5
16 5	17 4	18 2,5	4	19 3,5	20 4,5
11 5	12 3,5	13 4	3	14 3,5	15 3
6 5	7 4,5	8 2,5	2	9 4	10 3,5
1	2	3	1	4	5
<i>Vorne</i>				<i>Vorne</i>	

Abbildung 25: Temperatur-Einschätzung pro Sitzplatz (26 °C, 1 = sehr kalt – 7 = heiß)

3.2.5 Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf das Klimaempfinden: Geschlecht

Exemplarisch für den Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf das Klimaempfinden werden im Folgenden die Ergebnisse für das Geschlecht dargestellt. Weitergehende Analysen zum Einfluss von z.B. Klimapräferenzen und Klimatyp finden sich in Winzen und Marggraf-Micheel (2013).

3.2.5.1 Einschätzung und Bewertung der Klimaparameter

Es sind Unterschiede in den Einschätzungen der Klimaparameter abhängig vom Geschlecht zu beobachten: Frauen schätzen die Temperatur grundsätzlich als kühler ein und den Luftzug als stärker. Die Luftfeuchtigkeit wird von den Männern insgesamt etwas höher eingeschätzt, die Luftqualität als besser.

Auch für die Bewertung der Klimaparameter zeigen sich Unterschiede: für die befragten Männer ist das Klima in Bezug auf die Temperatur, den Luftzug und die Luftfeuchte signifikant angenehmer als für die Frauen. Für die Luftqualität ergeben sich keine Unterschiede.

Diese Ergebnisse spiegeln sich auch in der Beurteilung der Zufriedenheit mit dem Klima insgesamt wider: männliche Probanden sind insgesamt zufriedener mit dem Klima als weibliche.

3.2.5.2 MDBF

Die Geschlechter unterscheiden sich auch im Hinblick auf ihr Wohlbefinden laut MDBF, und zwar in allen drei Dimensionen („Gute Stimmung“, „Wachheit“, „Ruhe“): Männer sind im Vergleich zu Frauen besserer Stimmung, beschreiben sich als wacher und tendenziell auch als ruhiger.

3.2.5.3 FAW

Auch in Bezug auf das körperliche Wohlbefinden („Leistungsfähigkeit“, „Behaglichkeit“) lassen sich Geschlechtsunterschiede feststellen: Männer fühlen sich tendenziell leistungsfähiger als Frauen und signifikant behaglicher.

4 Ein psychologisches Thermo-Komfort-Modell

Für die Vorhersage des empfundenen Klimakomforts in der Kabine wurde ein psychologisches Thermo-Komfort-Modell mit mehreren Wirkungszusammenhängen entwickelt. Das Modell basiert auf objektiven und subjektiven Faktoren mit einem moderierenden Einfluss individueller Personenmerkmale und wird als ein hypothesengeleitetes Pfadmodell dargestellt (s. Abbildung 26).

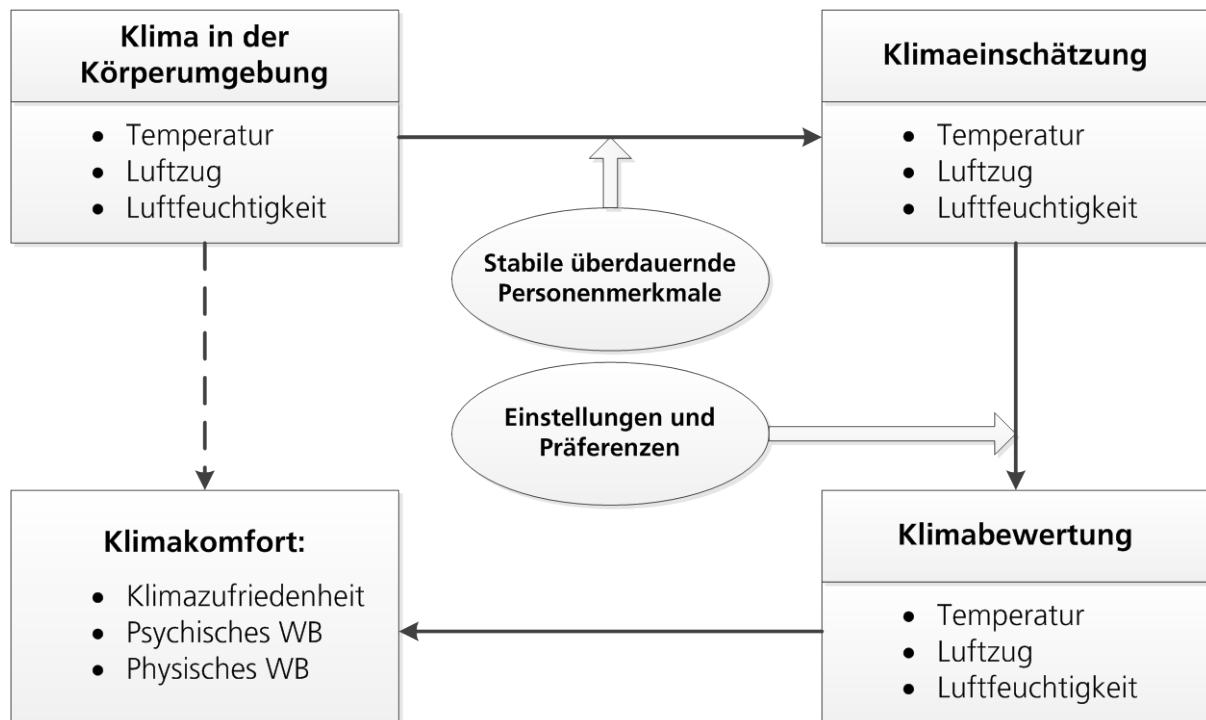


Abbildung 26: Thermo-Komfort-Modell

Zu den objektiven Faktoren (s. Kasten: Klima in der Körperumgebung) gehören objektiv gemessene Klimaparameter (Lufttemperatur, Luftzug, Luftfeuchtigkeit) in der Körperumgebung von Probanden bzw. Dummies. Zu den subjektiven Faktoren gehören sowohl Einschätzungen und Bewertungen bezüglich des einwirkenden Klimas, als auch individuelle personenbeschreibende Merkmale wie z.B. Geschlecht, Persönlichkeit, Klimapräferenzen und Einstellungen.

Nach dem Modell werden folgende kausale Zusammenhänge angenommen:

1. Das Klima in der Körperumgebung hat einen Einfluss auf die subjektive Klimaeinschätzung (s. Kasten „Klima in der Körperumgebung“). Dies bedeutet, die subjektive Einschätzung der Ausprägung der Klimaparameter hinsichtlich der Lufttemperatur (von „sehr kalt“ bis „sehr warm“), des Luftzugs (von „gar kein Luftzug“ bis „sehr starker Luftzug“) und der Luftfeuchtigkeit (von „sehr trocken“ bis „sehr feucht“) hängt von den tatsächlich wirkenden Klimaeinflussfaktoren ab (s. Kasten „Klimaeinschätzung“).
2. Die subjektive Klimaeinschätzung hat folgend einen Einfluss auf die subjektive Klimabewertung (s. Kasten „Klimabewertung“). Denn in Abhängigkeit davon,

wie das gegebene Klima hinsichtlich seiner Ausprägung von der Person eingeschätzt wird, wird es entsprechend von „*sehr unangenehm*“ bis „*sehr angenehm*“ bewertet.

3. Schließlich wirkt die subjektive Klimabewertung auf das generelle Klimakomfortempfinden ein. Nach Richards (1980, S. 15) wird Komfort als ein Zustand des subjektiven Wohlbefindens bezeichnet, der sowohl psychische als auch physische Komponenten enthält. Demzufolge wird unter Klimakomfort in diesem Modell die gesamte Zufriedenheit mit dem Klima in der Flugzeugkabine („sehr unzufrieden“ bis „sehr zufrieden“) sowie das psychische und das physische Wohlbefinden zusammengefasst (s. Kasten „Klimakomfort“).
4. Aufgrund der bisherigen Forschungserkenntnisse wird ebenfalls angenommen, dass individuelle Personenmerkmale wie Geschlecht, Body-Maß-Index, Persönlichkeit, Einstellungen und Präferenzen das Komforterleben beeinflussen (de Dear & Brager, 1998). Dabei üben diese Variablen im Rahmen des Klimakomfort-Modells einen moderierenden Einfluss auf thermische Wahrnehmung und Behaglichkeit aus. In dem hier entwickelten Modell werden individuelle Faktoren in zwei Gruppen aufgeteilt: stabile Personenmerkmale und Einstellungen, Präferenzen. Bei den ersten handelt es sich um relativ überdauernde stabile Personenmerkmale wie z.B. Geschlecht und Persönlichkeit. Die zweiten stellen gewisse Einstellungen und Präferenzen hinsichtlich des Klimas dar (z.B. Präferenz für Wärme, Präferenz für hohe Luftqualität, Klimarelevanz), die sich im Laufe der Lebenszeit entwickelt haben.

Für die Überprüfung des Modells wurden differenzierte statistische Analysen durchgeführt (lineare Regressionsanalysen, Moderationsanalysen). Um die systematischen Zusammenhänge zu erkennen, wurde das Modell auf der Gesamtebene und nicht pro Körperteil analysiert. In die Modellberechnungen wurden die Daten der ersten zwei ECCO-Untersuchungen (N=120, siehe S. 7, Abbildung 2) einbezogen. Im Folgenden werden die relevantesten Erkenntnisse dieser Berechnungen dargestellt.

Bei der Analyse des kausalen Zusammenhangs zwischen dem objektiven Klima am Körper und der subjektiven Klimaeinschätzung hat sich Folgendes ergeben: je wärmer die Temperatur in der Körperumgebung gemessen wurde, desto wärmer wurde diese von den Probanden eingeschätzt. Auch der Luftzug sowie die Luftfeuchte wurden umso stärker bzw. höher wahrgenommen, je stärker die tatsächliche Ausprägung der genannten Parameter war.

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der subjektiven Klimaeinschätzung und der subjektiven Klimabewertung lieferte ebenfalls hypothesenkonforme Ergebnisse. Die hohen Ausprägungen der Einschätzungen gehen mit hohen Ausprägungen der Bewertungen hinsichtlich der Temperatur und der Luftfeuchte einher (je wärmer desto angenehmer; je mehr Luftfeuchte desto angenehmer). In Bezug auf den Luftzug zeigt sich eine negative Beziehung: je stärker der Luftzug von den Versuchspersonen eingeschätzt wurde, desto unangenehmer wurde er bewertet.

Der Einfluss der Klimabewertung auf das gesamte Klimakomfortempfinden lässt sich anhand der durchgeführten multiplen Regressionsanalyse als hoch signifikant bezeichnen. Dies bedeutet, ein hoher Varianzanteil im Klimakomfort kann durch die subjektiven Bewertungen der Behaglichkeit der Klimaparameter aufgeklärt werden. Insgesamt zeigt sich die subjektive Klimabewertung als Prädiktor mit der höchsten Vorhersagekraft für den Klimakomfort.

Ebenfalls wurde getestet, ob der alleinige Einfluss des objektiven Klimas zur Vorhersage des Klimakomforts beitragen kann. Nach den statistischen Analysen konnte lediglich ein moderater, nicht signifikanter Einfluss aufgezeigt werden.

Zur Wirkung der individuellen Faktoren auf das Klimakomforterleben wurde eine Reihe von differenzierten Moderationsanalysen berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen demonstrieren, dass stabile Personenmerkmale die Wirkung des objektiven Klimas auf die subjektive Klimaeinschätzung moderieren. Das bedeutet, dass objektive Klimaparameter einen unterschiedlichen Einfluss auf die subjektiven Klimaeinschätzungen aufweisen in Abhängigkeit von der Wirkung der stabilen Personenmerkmale (z.B. Body-Maß-Index).

Ebenso konnte der moderierende Einfluss der Einstellungen und Präferenzen auf den Zusammenhang zwischen den subjektiven Klimaeinschätzungen und den subjektiven Klimabewertungen bestätigt werden. Der Einfluss der Klimaeinschätzungen auf die Klimabewertungen ändert sich in Abhängigkeit von Klimapräferenzen (z.B. Präferenz für Wärme).

Eine detaillierte Erklärung und Analyse der moderierenden Effekte individueller Personenmerkmale auf Klimawahrnehmung und -komfort wurde im Rahmen der Dissertation von Berg (2013) vorgenommen.

Insgesamt lässt sich das psychologische Thermo-Komfort-Modell als aussagekräftig bewerten. Subjektive Beurteilungen des Klimas von Personen sind entscheidende Einflussgrößen für das Klimakomfortempfinden. Eine direkte Vorhersage des thermischen Komforts anhand der objektiven Klimasituation war mit den vorliegenden Daten nicht möglich. Individuelle personenbeschreibende Merkmale spielen bei der Erklärung der Unterschiede im Klimaerleben eine wesentliche Rolle.

5 Vorhersage thermischen Komforts

Auf Basis der erhobenen subjektiven Daten zur Klimasituation und dem Befinden der Probanden kann eine Vorhersage für den thermischen Komfort im Allgemeinen und im Speziellen (z.B. für einzelne Sitzreihen/Sitzplätze) erfolgen. Interessant ist in diesem Zusammenhang zum einen das Zusammenwirken der verschiedenen Klimaparameter und zum anderen die tatsächliche Komfortvorhersage.

5.1 Zusammenwirken der Klimaparameter in Bezug auf die Vorhersage von Klimakomfort

Eine Herausforderung für die Komfortvorhersage ergibt sich aus dem Umstand, dass die Einschätzungen und Bewertungen der einzelnen Klimaparameter zum Teil stark voneinander abhängen. Aus diesem Grund wurden Pfadmodelle berechnet, die solche Abhängigkeiten abbilden können. Als Kriterium (AV) wird die Zufriedenheit mit dem Klima insgesamt berücksichtigt, Prädiktoren sind subjektive Daten (beide aus Fragebogen).

In Abbildung 27 ist die Vorhersage der Klimazufriedenheit anhand der Einschätzung der Klimaparameter-Ausprägung veranschaulicht. Je höher die Temperatur, je niedriger der Luftzug und je höher die Luftfeuchte eingeschätzt werden, desto höher ist die Klimazufriedenheit. Dabei gibt es eine hohe negative Interkorrelation zwischen Temperatur und Luftzug-Einschätzung, das heißt: je höher die Temperatur eingeschätzt wird, desto niedriger wird der Luftzug eingeschätzt (und umgekehrt). Das Modell ist bedeutsam; die Varianzaufklärung beträgt 35%.

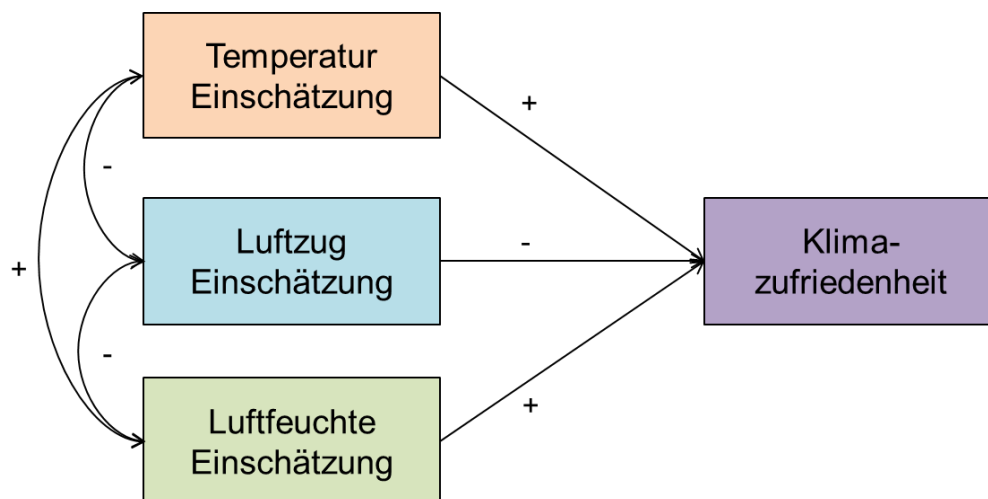


Abbildung 27: Pfadmodell Klima-Einschätzung – Klimazufriedenheit

Die Klimazufriedenheit lässt sich auch anhand der Klima-Bewertungen vorhersagen. Abbildung 28 zeigt, dass die Klimazufriedenheit insgesamt umso höher ist, je angenehmer die drei Parameter Temperatur, Luftzug und Luftfeuchte beurteilt werden.

Erneut gibt es hohe Interkorrelationen zwischen den Parametern: je angenehmer die Temperatur beurteilt wird, desto angenehmer werden auch Luftzug und Luftfeuchte beurteilt. Auch dieses Modell ist bedeutsam, die Varianzaufklärung liegt hier bei 44%.

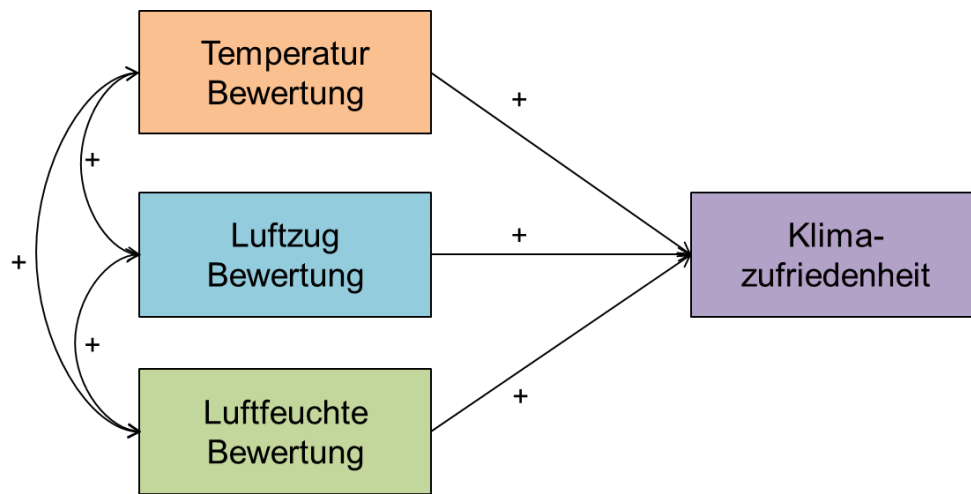


Abbildung 28: Pfadmodell Klima-Bewertung – Klimazufriedenheit

5.2 Komfortvorhersage: Anwendungsbeispiel

Um den Klimakomfort vorherzusagen, wurden einfache und multiple Regressionsanalysen berechnet. Auf Basis der objektiv gemessenen Daten lässt sich so beispielsweise vorhersagen, wie komfortabel die Temperatur in einer bestimmten Sitzreihe empfunden wird. Abbildung 29 veranschaulicht den in Sitzreihe 4 im Klimafall A5 (24 °C) empfundenen Klimakomfort pro Körperteil. Die Werte wurden für jedes Körperteil mit Hilfe von linearen und nicht-linearen Regressionen vorhergesagt. Prädiktoren waren hierbei die mit den USB-Loggern gemessenen Temperatur-Daten; Kriterium war die Temperatur-Bewertung für das jeweilige Körperteil.

Deutlich wird, dass für die Gangplätze geringer Komfort vorhergesagt wird, besonders an den Knöcheln, die zum Gang hin ausgerichtet sind, und am Oberkörper. Demgegenüber ist es am Fenster rechtsrecht angenehm. Auch an den Köpfen ist die Temperatur (mit Ausnahme des Sitzplatzes Gang rechts) weitgehend komfortabel.

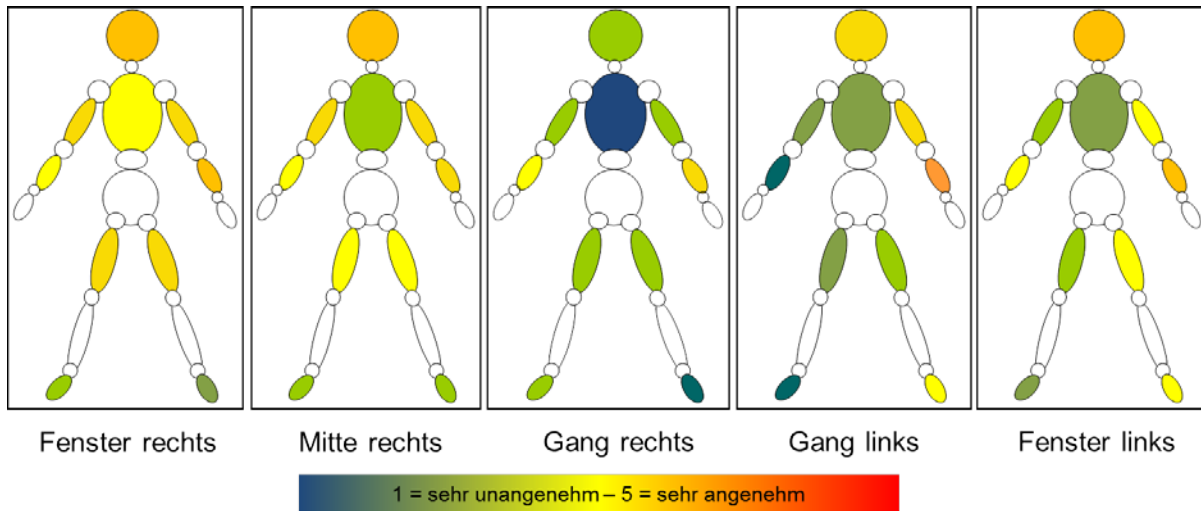


Abbildung 29: Vorhergesagter Klimakomfort in Klimafall A5 (24 °C), Reihe 4, auf Basis der objektiven Temperatur

In Abbildung 30 ist zum direkten Vergleich der empirisch ermittelte Temperatur-Komfort pro Körperteil (s. auch 3.2.3.1) dargestellt. Es zeigt sich, dass die grundsätzliche Komfortsituation – unkomfortabel kühle Temperaturen besonders am Gang rechts, komfortable Temperatur besonders am Fenster – über das Modell gut abgebildet werden kann. Auffällig ist, dass ein Teil der Versuchspersonen nicht allzu stark zwischen einzelnen Körperteilen differenziert.

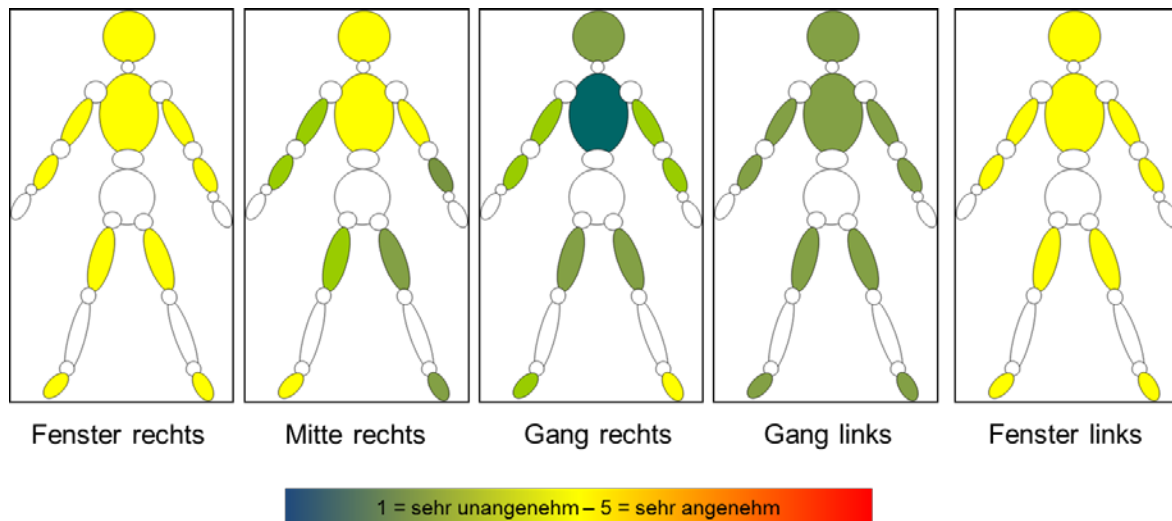


Abbildung 30: Empirisch ermittelter Klimakomfort in Klimafall A5 (24 °C), Reihe 4 (Temperatur-Bewertung)

5.3 Vergleich der Komfortvorhersage mit existierenden Komfortmodellen

5.3.1 Vergleich mit Fanger PMV und PPD (ISO 7730)

Die in ECCO erhobenen Daten lassen sich annäherungsweise mit den Komfortvorhersagen bereits existierender Thermokomfort-Modelle vergleichen.

Um beispielsweise einen direkten Vergleich mit den klassischen PMV- und PPD-Werten von Fanger vorzunehmen, lässt sich die hier erhobene Temperatur-Einschätzung über eine einfache lineare Transformation in einen PMV-Wert überführen. Für diesen kann im zweiten Schritt ein PPD-Wert ermittelt werden ($PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$, ISO 7730; s. Tabelle 19). Die Fanger-Werte sind der ISO-Norm 7730 entnommen. Sie bilden den thermischen Komfort in Büroräumen für einzelne Temperaturstufen (21 °C-26 °C) bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,15 m/s, einer relativen Luftfeuchte von 50%, einer Bekleidungsstärke von 1 clo und einem Aktivitätslevel von 1 met ab.

Der direkte Vergleich der PMV- und PPD-Werte (s. Abbildung 31) zeigt, dass die objektiv gemessene Temperatur im Projekt ECCO niedriger eingeschätzt wird als in der Norm angegeben. Dadurch resultieren auch geringere Behaglichkeitswerte; der Anteil Unzufriedener ist im Flugzeug bei kühleren Temperaturen basierend auf den vorliegenden Daten demnach bei gleicher Temperatur (allerdings auch geringerer Luftfeuchte) insgesamt höher.

Tabelle 19: Vergleich ECCO-Daten mit Fanger PMV und PPD

Klimafall	Fanger-PMV	PPD	Temperatur-Einschätzung ECCO (PMV-Äquivalent)	PPD
A1/21°C	-0,74	16,53	-1,25	37,73
A3/22°C	-0,46	9,42	-1,03	27,40
A2/23°C	-0,18	5,67	-0,82	19,18
A5/24°C	0,1	5,21	-0,44	9,04
A4/25°C	0,38	8,01	0,41	8,50
A6/26°C	0,66	14,15	0,14	5,41

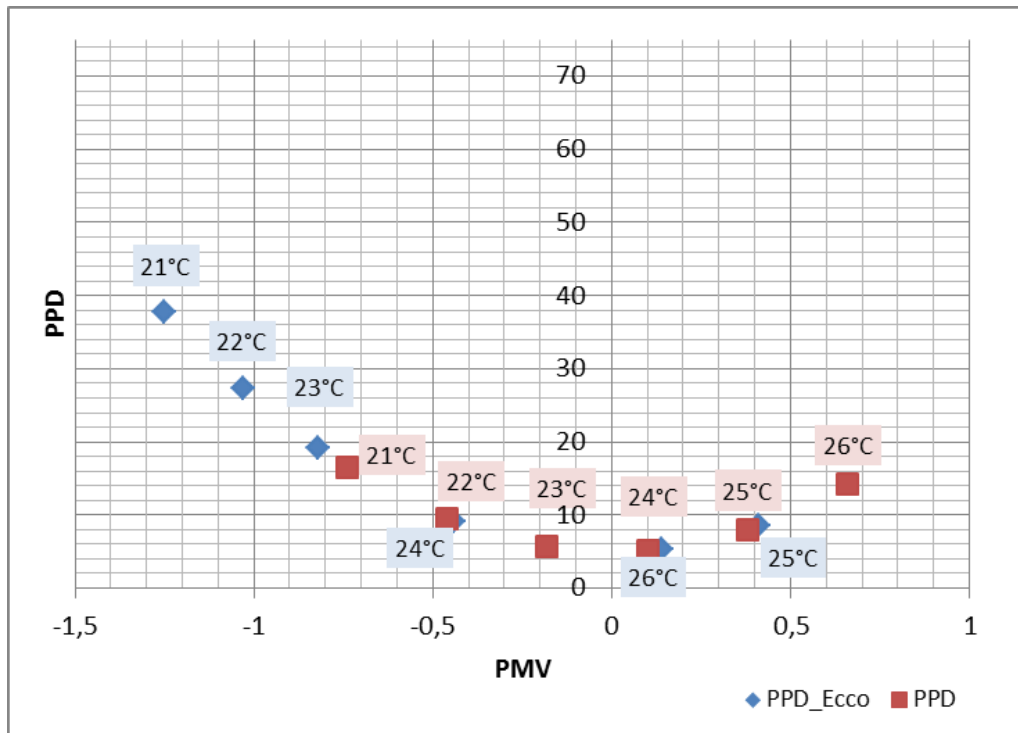


Abbildung 31: Vergleich ECCO-Daten mit Fanger PMV und PPD

5.3.2 Komfortgrenzen (ISO 14505-2:2006)

In der DIN EN ISO 14505-2:2006 (CEN, 2007) werden Komfortgrenzen für einzelne Körperteile in Bezug auf die Äquivalenttemperatur in Fahrzeugen angegeben. Grundlage der Norm sind einstündige Messungen an Versuchspersonen und Dummies, die einer Kühlanlage ausgesetzt waren und deren Bekleidungsstärke bei 0,6 clo lag. Auch mithilfe der im Projekt ECCO erfassten Daten können Komfortgrenzen bezogen auf die direkte Umgebungstemperatur des Körpers für den Klimaparameter Temperatur ermittelt werden. Eine Basis hierfür liefern Regressionsgleichungen für die einzelnen Körperteile (Prädiktoren: Temperaturwerte der USB-Logger-Messungen; Kriterien: Temperatur-Bewertung pro Körperteil). Diese wurden mit 2,5 (entspricht „eher unangenehm“ auf der Skala für die Temperatur-Bewertung) gleichgesetzt, um diejenigen Temperaturwerte zu ermitteln, für die ebendieser Skalenwert zu erwarten ist.

Als „eher unangenehm“ wird die Temperatur insgesamt eingeschätzt, wenn $x_1 \leq 24,41 \text{ °C}$ ist oder $x_2 \geq 31,21 \text{ °C}$. Grenzbereiche für einzelne Körperbereiche (blau) zeigt Abbildung 32 im direkten Vergleich zu den in der DIN EN ISO 14505 benannten Komfortbändern/Sommer. Deutlich wird, dass das im ECCO-Projekt identifizierte Komfortband großteils im ISO-Bereich „warm, jedoch behaglich“ liegt. Es werden insgesamt weniger niedrige Temperaturen als angenehm zugelassen, besonders für den Oberkörper ergibt sich ein relativ schmaler Komfortbereich. Demgegenüber ist an den Oberschenkeln prinzipiell auch eine höhere Temperatur noch komfortabel. Anzunehmen ist, dass die gegenüber dem Fahrzeug andere Beströmungssituation im Flugzeug hier eine entscheidende Rolle spielt.

Weiterhin kann eine grobe Schätzung der Komfortbereiche für weitere Klimaparameter vorgenommen werden: Für den Luftzug kann auf Basis der vorliegenden Daten eine Komfortgrenze von $x \geq 0,31$ m/s angenommen werden, für die Luftfeuchte gilt für $x \leq 14$ %, dass diese als „tendenziell eher unangenehm“ beurteilt wird.

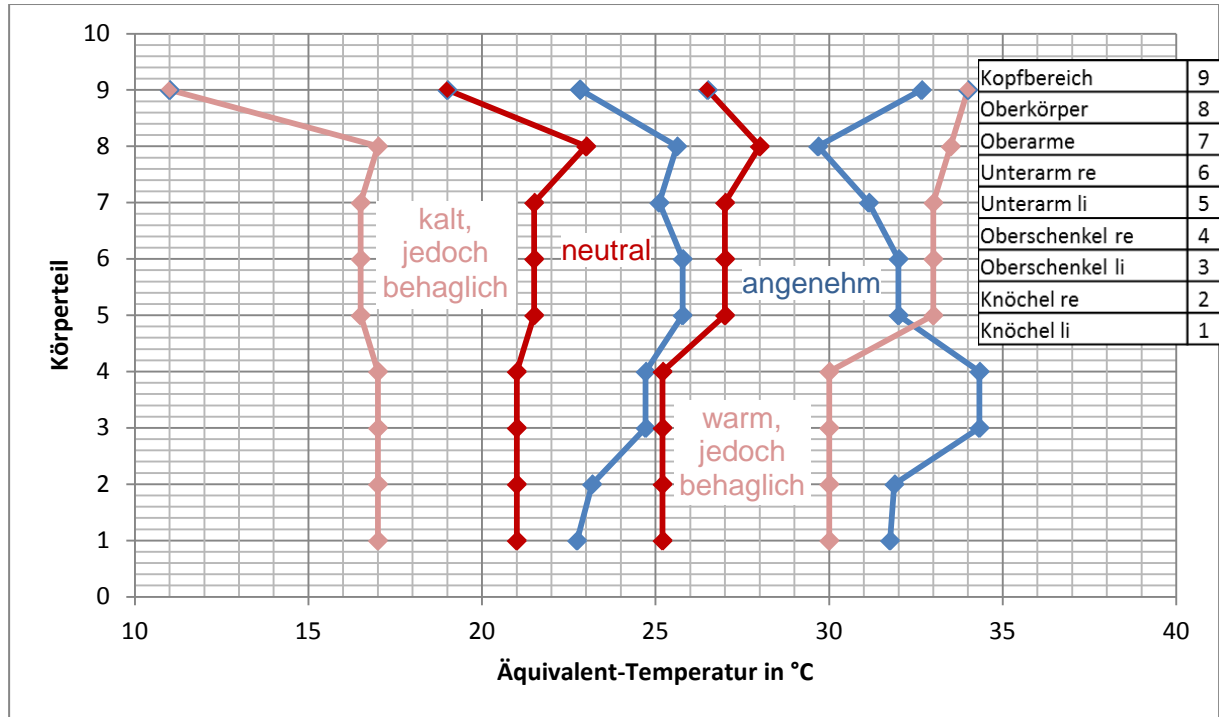


Abbildung 32: Vergleich der Komfortgrenzen ISO 14505/Sommer (rot) vs. ECCO (blau)

6 Bodenfall

6.1 Objektive Daten

Die vierte ECCO-Untersuchung wurde am 10. November 2012 durchgeführt. In diesem Versuch wurde ein Bodenfall (Klima A7) wiederholt simuliert. Hier sollte eine durchschnittliche Kabinentemperatur von 27 °C bei 40% Luftfeuchtigkeit und 660 l/s Luftaustauschrate dargeboten werden. Folgende Durchschnittswerte wurden realisiert:

Tabelle 20: Ausprägung der Klimaparameter in Klimafall A7

Klima A7		
Lufttemperatur °C	MW	27,3
	SD	0,89
Luftfeuchte %	MW	35,6
	SD	0,75
Luftgeschwindigkeit m/s	MW	0,14
	SD	0,02

Die Messung der Parameter erfolgte wie in Kapitel 2.4 beschrieben mit Hilfe unterschiedlicher Sensoren und Messtechniken.

Der Versuchsablauf ist in Abbildung 33 dargestellt. Der umgesetzte Klimafall wurde wiederholt präsentiert. In jeder Klimaphase folgte nach einer Einwirkzeit des Klimas von 15 Minuten die Beantwortung eines Fragebogens auf Handhelds für 10 bis 15 Minuten.

Versuch 8. Nov. 2012	Vorlauf	Bodenfall	Bodenfall
	Klima nicht konstant	27 °C 38 % Feuchte 0,13 m/s (660 l/s)	27,5 °C 36,6 % Feuchte 0,14 m/s (660 l/s)

Abbildung 33: Versuchsablauf Bodenfall

Wie in Tabelle 21 ersichtlich, wurden die Klimaparameter etwas abweichend von den angestrebten Sollwerten und auch für jede Klimaphase leicht unterschiedlich dargestellt. In der Klimaphase 3 (Klima A7-2) herrschte eine etwas wärmere Lufttemperatur als in den Klimaphasen 1 und 2. Ein wenig stärkerer Luftzug wurde ebenfalls in der letzten Klimaphase 3 ermittelt.

Tabelle 21: Übersicht der Messdaten objektiver Parameter pro Klimaphase

		Vorlauf	Klima A7 (1)	Klima A7 (2)
Klimaphase		1	2	3
Lufttemperatur °C (Pt100)	MW	26,84	27,06	27,52
	SD	1,04	0,90	0,89
Luftgeschwindigkeit m/s (Dantec-Sonden)	MW	0,13	0,13	0,14
	SD	0,02	0,03	0,02
Luftfeuchte % (USB-Logger)	MW	36,08	36,21	34,95
	SD	2,94	0,68	0,81

Das Umgebungsklima wurde genauso wie in den anderen ECCO-Versuchen am Körper von 10 Versuchspersonen an verschiedenen Körperteilen gemessen (s. Kapitel 3.1.2). Die Versuchspersonen saßen in der 4. und in der 11. Querreihe in der Kabine.

Tabelle 22 liefert einen Überblick über die Gesamtmittelwerte der Lufttemperatur sowie der Luftfeuchte zusammenfassend für alle Körperteile und für alle Versuchspersonen.

Tabelle 22: Durchschnittliche Temperatur- und Luftfeuchtheitswerte zusammenfassend für alle Körperteile und alle Vpn pro Klimaphase (n=10)

		Vorlauf	Klima A7 (1)	Klima A7 (2)	Klima A7
Klimaphase		1	2	3	Ø
Temperatur °C	MW	26,75	28,14	28,69	28,47
	SD	1,04	1,05	1,09	1,41
Luftfeuchtigkeit %	MW	37,24	35,75	34,41	35,08
	SD	1,90	1,34	1,26	2,01

Im zweiten Fall des Klimas A7 wurden eine etwas höhere Temperatur und eine geringere Luftfeuchte am Körper gemessen, wobei die Unterschiede zwischen den beiden Phasen des Klimas A7 sehr gering sind.

Mittels Pt100-Sensoren (Lufttemperatur) und Dantec-Sonden (Luftzug) wurde das Umgebungsklima am Körper der oben beschriebenen Dummies ermittelt.

Tabelle 23: Durchschnittliche Temperatur (Pt100) an den Körperteilen der Dummies pro Klimaphase

		Vorlauf	Klima A7 (1)	Klima A7 (2)	Klima A7
Klimaphase		1	2	3	Ø
Beinbereich °C	MW	25,62	26,04	26,50	26,27
	SD	0,23	0,21	0,21	0,21
Oberkörper °C	MW	26,90	27,09	27,56	27,33
	SD	0,79	0,74	0,73	0,74
Kopfbereich °C	MW	27,72	27,80	28,26	28,03
	SD	0,35	0,37	0,37	0,37

Anmerkung: Messungen an verschiedenen Körperstellen wurden zu drei Körperbereichen zusammengefasst.

Es zeigt sich, dass die wärmste Lufttemperatur in jeder Klimaphase im Kopfbereich erfasst wurde. Die kälteste Temperatur herrschte in jeder Klimaphase im Beinbereich. In allen Klimaphasen wurde am Knie der niedrigste Luftzug gemessen.

Tabelle 24: Durchschnittliche Luftgeschwindigkeit (Dantec-Sonden) an den Körperteilen der Dummies pro Klimaphase

		Vorlauf	Klima A7 (1)	Klima A7 (2)	Klima A7
Klimaphase		1	2	3	Ø
Knöchel m/s	MW	0,14	0,14	0,15	0,15
	SD	0,03	0,03	0,03	0,03
Knie m/s	MW	0,10	0,11	0,11	0,11
	SD	0,04	0,04	0,04	0,04
Kopf m/s	MW	0,14	0,15	0,15	0,15
	SD	0,04	0,04	0,04	0,04

6.2 Subjektive Klimabewertung

In diesem relativ warmen Klimafall wird die Temperatur als neutral bis eher warm eingeschätzt. Der Luftzug wird als schwach empfunden, die Luftfeuchte als eher trocken und die Luftqualität als eher gering. Insgesamt wird der Klimafall als mittelmäßig angenehm bewertet; als am angenehmsten wird relativ betrachtet der Luftzug beurteilt. Der Anteil Zufriedener ist für diesen Klimafall vergleichsweise niedrig, nur 54 % der Probanden haben einen Skalenwert zwischen „neutral“ und „sehr zufrieden“. Wie Abbildung 34 zeigt, gibt es – auch in diesem sehr warmen Klimafall – sowohl Probanden, die die Temperatur als kühl und unangenehm empfinden, als auch Probanden, die sie als warm und unangenehm empfinden.

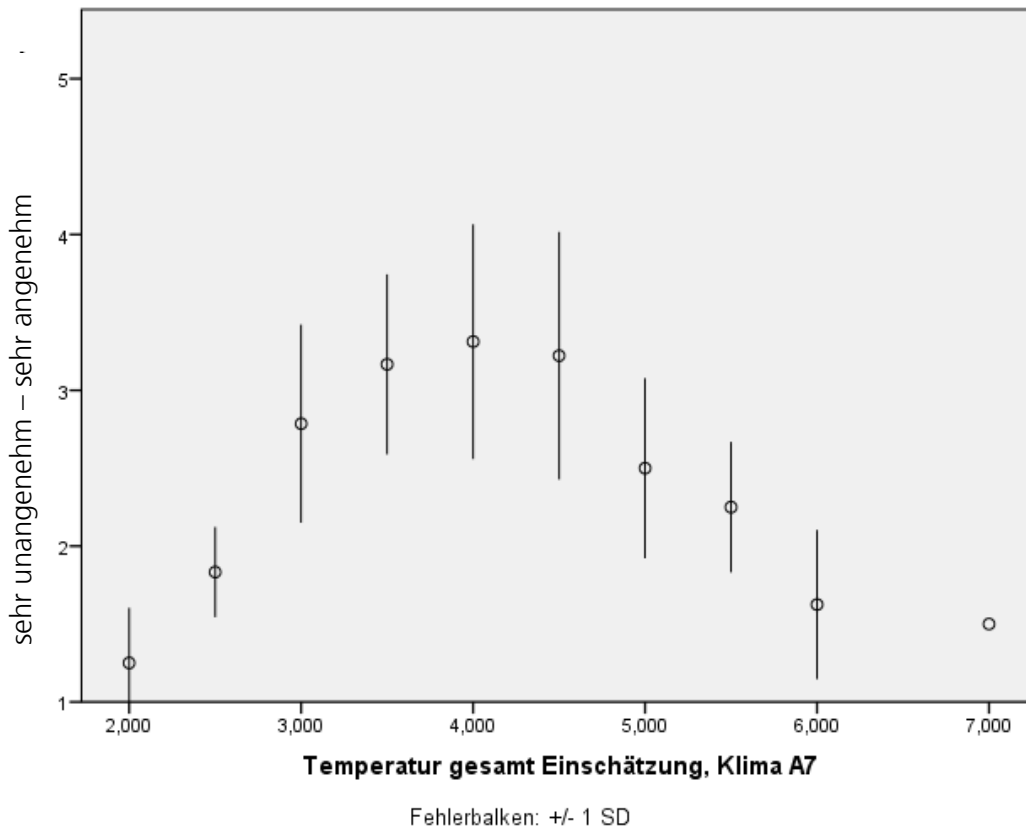


Abbildung 34: Zusammenhang Temperatur-Einschätzung und -Bewertung

Im Hinblick auf das psychische Wohlbefinden zeigt sich, dass die Probanden eher guter Stimmung, in mittlerem Maße wach und ruhig sind. Zudem zeigt sich eine mittelmäßige Leistungsfähigkeit bei einer ebenfalls mittleren Behaglichkeit.

Weiterhin ergeben sich auch in diesem warmen Klimafall signifikante Unterschiede in der Klima-Einschätzung und -Bewertung pro Sitzreihe (längs). Temperatur und Luftfeuchte werden abhängig von der Sitzreihe tendenziell unterschiedlich eingeschätzt: Am Gang rechts wird die Temperatur als am kältesten eingeschätzt, am wärmsten in beiden Fensterreihen. Die Luftfeuchte-Einschätzung fällt am Fenster rechts am höchsten aus. Für den Luftzug und die Luftqualität gibt es keine bedeutsamen Effekte. Trotz der Unterschiede in Bezug auf die Parameter-Einschätzung ergeben sich hinsichtlich der Komfort-Bewertung keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Sitzreihen. In allen Reihen beschreiben sich die Probanden als mittelmäßig zufrieden.

7 Zusammenfassende Bewertung

7.1 Validität der Daten

Die in dem beschriebenen Arbeitspaket erhobenen Daten liefern hypothesenkonforme und differenzierende Ergebnisse zum thermischen Komfort in der Kabine des Mock-Up Do 728. So zeigt sich beispielsweise, dass die untersuchten Klimafälle bei Temperaturen zwischen 21,5 °C und 26 °C von den befragten Probanden mit einer eingeschränkten bis mittleren Zufriedenheit bewertet werden. Den geringsten Komfort erleben die Versuchspersonen im kältesten Klimafall. Hier sei die Temperatur zu niedrig und es wird zu viel Luftzug erlebt. Gleichzeitig wird die Luftqualität angenehm eingeschätzt. Insgesamt liegt der Anteil Zufriedener in diesem Klimafall aber nur etwas über 50%.

Hingegen weisen die wärmsten Klimafälle mit 25 °C und 26 °C die meisten Zufriedenen mit über 70% auf. Allerdings werden nicht alle Klimaparameter gleich komfortabel bewertet. So wird in den wärmsten Klimafällen die Luftqualität als zu gering bemängelt. In der Wärme ist es den Testpersonen demnach zu stickig.

Gefragt wurde auch nach dem physischen und psychischen Wohlbefinden in den Klimasituationen. Die Angaben zum physischen Wohlbefinden betreffen dabei die Leistungsfähigkeit und die körperliche Behaglichkeit. Zum psychischen Wohlbefinden werden Einschätzungen der Stimmung, Ruhe und Wachheit erfasst. Insgesamt zeigen sich weniger Unterschiede im Wohlbefinden in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Klimafällen. Das Wohlbefinden liegt im Durchschnitt meist in mittlerer Ausprägung vor. Jedoch leidet die Leistungsfähigkeit in den wärmeren Temperaturfällen, sie wird hier am niedrigsten eingeschätzt. Bei 26 °C ist der Komfort im Weiteren dadurch eingeschränkt, dass die Probanden sich hier signifikant müder fühlen als in den übrigen Klimafällen. Die komfortabelste Reiseflugklimatisierung findet sich bei 25 °C.

Für die Klimafälle „Cruise“ zeigt sich weiterhin zusammenfassend, dass der Komfort für verschiedene Körperbereiche unterschiedlich hoch ausfällt. In allen Temperaturfällen gilt, dass die Probanden das Klima an den Knöcheln deutlich kühler, zugiger und unangenehmer empfinden. Insgesamt zeigt sich eine höhere Behaglichkeit der Körperteile in den wärmeren Klimafällen. Weiterhin liegen Unterschiede zwischen den Längssitzreihen vor. An den Gangplätzen werden Temperatur und Luftzug besonders in den kühleren Klimafällen als unangenehmer bewertet.

In den hier berichteten Untersuchungen findet sich auch der aus anderen Erhebungen bekannte Einfluss von stabilen Merkmalen und Persönlichkeitsvariablen auf das Komforterleben (vgl. Marggraf-Micheel et al., 2010) – z.B. sind männliche Probanden mit allen Klimabedingungen zufriedener als Frauen, allerdings zeigen sich nicht immer statistisch bedeutsame Unterschiede.

Der zusätzlich untersuchte Bodenfall mit 27 °C durchschnittlicher Kabinentemperatur kann nicht in direkten Vergleich mit den „Cruisefällen“ gesetzt werden, da die Probanden dünner bekleidet waren und die Luftfeuchtigkeit für den Bodenfall deutlich höher lag. Der Klimafall wird im Durchschnitt als mittelmäßig angenehm bewertet, wobei eine große Streuung der Temperaturbewertungen zwischen sehr unangenehm bis angenehm anzutreffen ist. 54% der Probanden sind mit der Klimasituation zufrieden.

7.2 Qualität der Datenbank

Die vorgelegte Datenbank hat einen Geltungsbereich für Cruise-Bedingungen innerhalb des Normbereichs für thermischen Komfort. Sie kann verwendet werden, um den gegebenen thermischen Komfort unter bestimmten Klimabedingungen zu beschreiben und um Komfortvorhersagen zu treffen.

Aufgezeigt wurde, dass mit den erhobenen Daten eine Vorhersage zum Klimakomfort getroffen werden kann, die im Abgleich mit bestehenden Normen und Komfortmodellen deutliche Aussagekraft aufweist. So kann beispielsweise ein Vergleich mit dem nach Fanger (ISO 7730-2005) ermittelten Prozentsatz Zufriedener in einem gegebenen Klima vorgelegt werden. Vor allem für die hier untersuchten kühleren Temperaturen ergeben sich plausible Verschiebungen in Richtung einer höheren Anzahl von Unzufriedenen für die Flugzeugkabine.

7.3 Thermo-Komfort-Modell

Vorliegende Thermo-Komfort-Modelle sind im Hinblick auf die berücksichtigten Kenngrößen und ihre Komplexität klassifiziert. So werden statistische von physiologischen Modellen und eindimensionale von komplexen unterschieden (Zhang, 2003; Streblow, Müller, Gores & Bendfeldt, 2009). Die Vorhersage von instabilen und inhomogenen Umgebungsbedingungen, wie sie in der Flugzeugkabine vorherrschen, gilt als große Herausforderung. Auch aktuelle komplexere Thermo-Komfort-Modelle konnten ihre Vorhersagekraft noch nicht vollständig belegen (Park, Hellwig, Grün & Holm, 2011). Auf diesem Hintergrund wurde in dem vorliegenden Arbeitspaket ein weiteres Thermo-Komfort-Modell erarbeitet. Es soll den Zusammenhang zwischen objektiven Klimabedingungen in der Körperumgebung und den subjektiven Komfortaussagen zu dem erlebten Klima abbilden. Die zur Verarbeitung der objektiven Reize im Körper ablaufenden physiologischen Prozesse werden in diesem Modell nicht berücksichtigt. Da hier die Zielsetzung in der Vorhersage des Komforterlebens und nicht in einer Modellierung physiologischer Prozesse im Körper liegt, wird auf die zwischen „In- und Output“ geschalteten physiologischen Prozessen keine Aufmerksamkeit gerichtet. Letztlich entscheidend für die Komfortbewertung einer thermischen Situation ist in diesem Modell die Aussage einer Person zu ihrem Erleben. Gesucht wurde nach systematischen, regelhaften Zusammenhängen zwischen den objektiven thermischen Bedingungen in einer Flugzeugkabine und dem subjektiven Erleben. Sie wurden in einem statistischen Modell abgebildet, um Vorhersagen zu lokalem und Gesamtkomfort zu leisten.

Das konstruierte Modell weist, wie in Kapitel 4 dargestellt, fünf zentrale Variablenblöcke auf, die in ein Prozessmodell eingebettet sind. Gruppiert sind die objektiven Bedingungen in der Körperumgebung, die subjektive Klimaeinschätzung, deren Bewertung, eine letztlich resultierenden Gesamtkomfortbewertung und differentielle Merkmale, die auf alle diese Variablen einwirken. Erste Berechnungen zu den Zusammenhängen für die einzelnen Variablenblöcke des Modells erbringen - wie berichtet - Ergebnisse, die sinnvolle Beziehungen abbilden und die höhere Aussagekraft subjektiver gegenüber objektiver Daten für eine Vorhersage von Komforterleben

belegen. Die Zusammenhänge und Gewichtungen einzelner Variablen zeigen dabei gut ausreichende Varianzaufklärung für den bisher bereitgestellten Datenpool.

7.4 Fazit

Insgesamt kann die Validität der erhobenen Daten als zufriedenstellend bis gut beschrieben werden. Das eingesetzte Instrumentarium erfasst Unterschiede im Komforterleben, die auf die Wirkung der unterschiedlichen thermischen Bedingungen der untersuchten Klimafälle zurückzuführen sind. Detailliertere Analysen zu Bereichen am Körper, der Sitzreihe oder persönlichen Merkmalen der befragten Versuchspersonen weisen auf entsprechende hypothesenkonforme Unterschiede im thermischen Erleben hin. Die erfassten objektiven und subjektiven Daten zu den vorgegebenen Klimafällen sind auch in Hinblick auf die Differenzierung gut geeignet für den Aufbau einer Datenbank zum thermischen Komfort in der Flugzeugkabine und bieten eine plausible Grundlage für die Vorhersage von thermischem Komfort in Single-Aisle Kabinen. Der Geltungsbereich der Daten ist jedoch eingeschränkt auf die Versuchsbedingungen ohne die für einen Flug typischen Luftdruckverhältnisse. Zukünftige Flugtests können Hinweise auf die Repräsentativität der Daten geben.

Insgesamt hat sich das methodische Vorgehen im Rahmen der durchgeführten Studien zur Analyse des thermischen Komforts nach den vorliegenden Ergebnissen gut bewährt. Für die Komfortbewertung anderer Klimatisierungssysteme (z.B. Quellluftsysteme), für andere Zielgruppen (z.B. Kabinencrew), für den Verlauf des Komforterlebens auf Flügen (z.B. Langstrecke) und für Passagiere in anderen Verkehrsmitteln (z.B. Bahn) bieten sich Übertragungen des vorliegenden Vorgehens an.

8 Literatur

- ANSI/ASHRAE Standard 161_2007. *Airquality within Commercial Aircraft*. Atlanta, Georgia: ASHRAE Inc.
- Berg, Y. (2013). *Thermo-Komfort-Modell: Vorhersage des Klimakomforts in der Flugzeugkabine auf der Grundlage objektiver und subjektiver Parameter*. Dissertation in Arbeit, Universität Hamburg.
- CEN – Europäisches Institut für Normierung (Hrsg.) (2009). *DIN EN 4618 Luft- und Raumfahrt – Qualitätsstandards für Kabinenluft, Kriterien und Messverfahren*. Brüssel: Beuth.
- CEN – Europäisches Komitee für Normung (2007). *EN ISO 14505-2:2006. Ergonomie der thermischen Umgebung – Beurteilung der thermischen Umgebung in Fahrzeugen. Teil 2: Bestimmung der Äquivalenttemperatur*. Brüssel: Beuth.
- De Dear, R. & Brager, G. S. (1998). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. UC Berkeley, USA: Center for Environmental Design Research.
- Frank, R. (2003). FAW-Fragebogen zur Erfassung des aktuellen körperlichen Wohlbefindens. In J. Schumacher, A. Klaiberg & E. Brähler (Hrsg.), *Diagnostische Verfahren zu Lebensqualität und Wohlbefinden* (S. 116-121). Göttingen: Hogrefe.
- International Organization for Standardization (2005). *ISO 7730-2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Brüssel: Beuth.
- Marggraf-Micheel, C., Piewald, C., Winzen, J. & Berg, Y. (2010). *Thermischer Komfort in der Flugzeugkabine – Forschung im Do 728 Kabinen Mock-Up* (Forschungsbericht 2010-07). Hamburg: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.
- Park, S., Hellwig, R.T., Grün, G. & Holm, A. (2011). Local and overall thermal comfort in an aircraft cabin and their interrelations. *Building and Environment*, 46, 1056-1064.
- Rammstedt, B. & John, O. P. (2005). Kurzversion des Big Five Inventory (BFI-K): Entwicklung und Validierung eines ökonomischen Inventars zur Erfassung der fünf Faktoren der Persönlichkeit. *Diagnostica*, 51, 195-206.
- Richards, L.G. (1980). On the psychology of passenger comfort. In D. J. Osborne & J. A. Levis (Eds.). *Human Factors in Transport Research*, 2, 15-23.
- Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P. & Eid, M. (1997). *Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)*. Handanweisung. Göttingen: Hogrefe.
- Streblow, R., Müller, D., Gores, I. & Bendfeldt (2009). Thermisches Komfortmodell für inhomogene Umgebungsbedingungen. *Bauphysik*, 31, Heft 1, S. 38-41.
- Vink, P., Bazley, C., Kamp, I. & Blok, M. (2012). Possibilities to improve the aircraft interior comfort experience. *Applied Ergonomics*, 43, 354-359.
- Winzen, J. & Marggraf-Micheel, C. (2013). Climate preferences and expectations and their influence on comfort evaluations in an aircraft cabin. Manuscript submitted for publication.
- Zhang, H. (2003). *Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments*. Dissertation, University of California, Berkeley/USA.